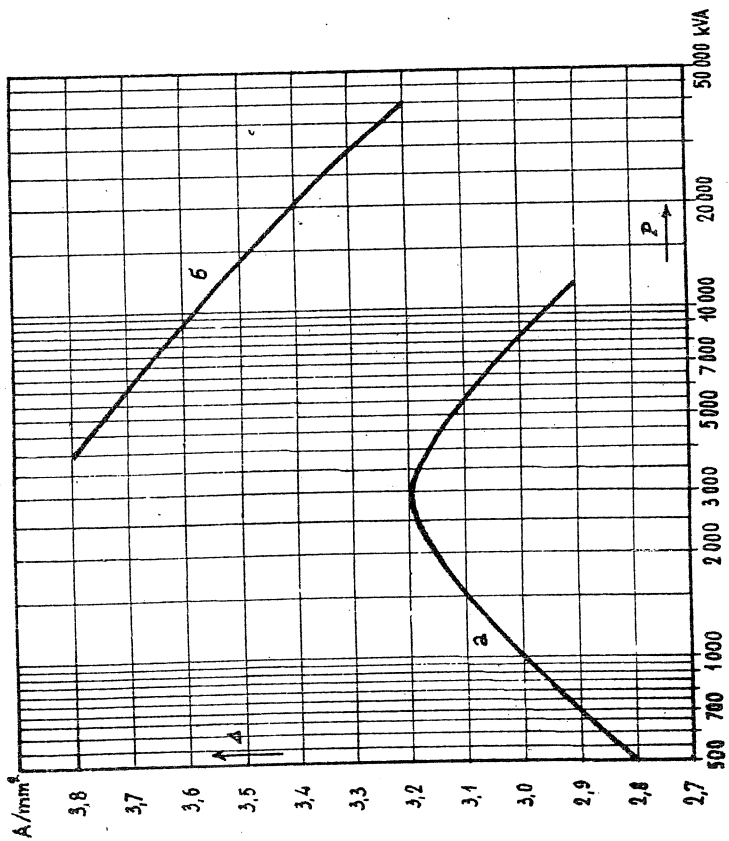


5 сл. - Јачина магнетног урлива у језгру (B_m) и густина струје (Δ) у навојима нормалних трансформатора са природним струјањем уља од 5 до 500 кВА



6 сл. - Густина струје (Δ) у навојима великих трансформатора од 500 до 50000 кВА:

а - са природним струјањем
 б - са принудним струјањем уља и спољашњим хлађењем овога помоћу воде

$$\Gamma_{Cu} = 2,42 \Delta^2 \quad (*) \dots\dots\dots (3)$$

$$\Gamma_{Fe} = (\eta f + \delta f^2) B_m^2 = \Gamma_{Fe1} B_m^2 \dots\dots\dots (4)$$

У 3 обрасцу густину струје треба израчунати у A/mm^2 да би се Γ_{Cu} добило у W/kg бакра.
 У 4 обрасцу $\Gamma_{Cu} = \eta f + \delta f^2$ означава карактеристични јединични густина услед хистерезе и вижорних струја по килограму лимова при хармоничноме магнетној између $+1 Wb/m^2$ и $-1 Wb/m^2$. За његово срачунавање имамо у I табели податке за лимове који се употребљавају за трансформаторе.

I таблица - Податци о лимовима за трансформаторе

Врста лим	Дељина	η	δ	Γ_{Cu} при $f = 50 \text{ Hz}$
IV	0,50 mm	0,0285	0,000 110	1,70 W/kg
IV	0,35 mm	0,0285	0,000 054	1,55 W/kg
специјални	0,35 mm	0,0233	0,000 054	1,30 W/kg

Што се тиче сачињеног С из 1 обрасца може се рећи да се његова вредност оламо у уским границама, мења од трансформатора до трансформатора исте врсте. Изрез тог сачињеног (види извођење 1 обрасца на дну 4 и 5 стране) је

$$C = \sqrt{\frac{2 \mu_{Cu}}{4,44 \mu_{Fe}}} \sqrt{\frac{\pi}{l_{Fe}}} = 0,726 \sqrt{\frac{\pi}{l_{Fe}}} \dots\dots\dots (5)$$

Види се да С зависи од квадратног корена односа средње дужине навојјака примера и секундара (l_{Fe}) и укупне дужине гвозденог магнетног кола (l_{Fe}) рачунајући ту сва језгра и све јармове.

У II табели имамо вредности сачињеног С за грађане трансформатора са кристалим језгрима. Те вредности срачунале су узимајући да

II таблица. - Вредности сачињеног С за грађане трансформаторе са кристалим језгрима (**)

$\lambda =$	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
C =	0,442	0,418	0,399	0,381	0,365	0,338	0,317	0,300

(*) Ево како се, на пример за примар, долази до тог обрасца:

$$\Gamma'_{Cu} = \frac{P_{Cu}}{m_{Cu}} = 9 \cdot f \cdot S_{Cu} \cdot \frac{I^2}{S_{Cu}^2} = \frac{9 \cdot f \cdot I^2}{S_{Cu}} = \frac{9 \cdot f \cdot I^2}{\mu_{Cu} \cdot \Delta^2} \dots\dots\dots (3')$$

Слични образац мора важити и за секундар, па пошто је обично $\Delta' = \Delta'' = \Delta$, важће исти такав образац и за вихову целину. - Кад се за зарејавање намоте узме $f = 0,0215 \cdot 10^{-4} \Omega/m^2$ и стави $\mu_{Cu} = 8900 \text{ kg/m}^3$ биће:

$$\Gamma'_{Cu} = \frac{0,0215 \cdot 10^{-4} \Delta^2}{8900} = 2,42 \cdot 10^{-12} \Delta^2 \text{ (у систему MKS).}$$

Сачињај 10^{-12} испада ако се Δ изрази у A/mm^2 јер је на пр.: $2 A/mm^2 = 2 \cdot 10^6 A/m^2$.

(**) Да видимо како су срачунале ове вредности. - Полазимо од претпоставке да је ширина навојног простора (2с) једнака са пречником круга описаног око језгра (d) што је практично приближно уvek случај, дакле да је:

$$2c = d$$

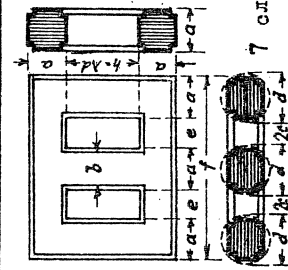
Као што се види на 7 сл. има се за растојање међу језгрима:

је двооструке ширине навојног простора (2c) једнака са речником кру-
га описаног око језгра, што приликом и јест обично случај. - Однос
 $\lambda = h/d$ показује колико је пута висина језгра (h) већа од пречника
круга описаног око језгра (d). - За трансформаторе ниских напонна и
малих снага узимају се за λ мање вредности, док веће одговарају тран-
сформаторима високих напонна и великих снага. Обично се узима $\lambda = 0,4$.

У III табели су вредности сачињеница C за једнобазне трансформаторе
торе са два кретага језгра које одговарају разним вредностима односа
 $\lambda = h/d$ и претпостави да је $2c = d$. Обично се узима $C = 0,45$.

III таблица - Вредности оцњеница C за једнобазне трансформаторе са два кретага језгра (*)

$\lambda =$	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
C =	0,570	0,535	0,507	0,483	0,461	0,426	0,398	0,375



$$e = 2c + (d - a) = d + (d - 0,85d) = 1,15d$$

За дужину јарма има се:

$$f = 3a + 2e = 3 \cdot 0,85d + 2 \cdot 1,15d = 4,85d$$

Укупна дужина железног кола је оида:

$$l_e = 3h + 2f = 3\lambda d + 2 \cdot 4,85d = (3\lambda + 9,7)d$$

Орадна вредност обима навојака

$$W = \pi(d + 2\frac{e}{2}) = \pi(d + \frac{d}{2}) = 1,5\pi d = 4,72d$$

Према томе:

$$\frac{W}{l_e} = \frac{4,72d}{(3\lambda + 9,7)d} = \frac{4,72}{3\lambda + 9,7}$$

По том образцу срачунае су вредности односа W/l_e за разне
вредности за λ које се налазе у приложеној табели из њих по 5
образцу вредности које имамо у II табели.

$\lambda =$	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
$W/l_e =$	0,371	0,332	0,301	0,275	0,252	0,217	0,190	0,170

(*) Ево како се долази до тих вредности. - И овде показимо од
претпоставке, сасвим блиске стварности, да је
ширина навојног простора (2c) управо једна-
ка са пречником круга описаног око језгра:

$$2c = d$$

Растојање између језгра износи (8 сл.):

$$e = 2c + (d - a) = d + 0,15d$$

$$e = 1,15d$$

За дужину јарма има се:

$$f = 2a + e = 2 \cdot 0,85d + 1,15d$$

$$f = 2,85d$$

Висина језгра је извесан број (λ) пута већа
од пречника:

$$h = \lambda d$$

Укупна дужина магнетног кола је овде:

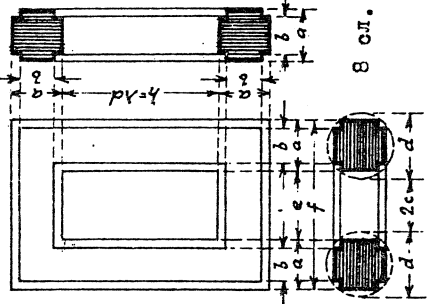
$$l_e = 2h + 2f = 2\lambda d + 2 \cdot 2,85d$$

$$l_e = (2\lambda + 5,7)d$$

Обим средњег навојака:

$$W = \pi(d + 2\frac{e}{2}) = \pi(d + \frac{d}{2}) = 1,5\pi d = 4,72d$$

Према томе се има за однос:



У IV табели су вредности сачињеница C за једнобазне трансформаторе
са језгрима правоугаоног пресека, - ширина лимова означена је са
a а дебелина наслаг лимова (b) може се узети извесан број (m) пу-
та већа: $b = m \cdot a$. Сачињеница C срачунае се уз разне вредности односа (λ)
између висине језгра (h) и ширине лимова (a) уз претпоставку да
двоострука ширина навојног простора износи $2c = 1,4a$. - Обично се
узима $C = 0,45$.

IV таблица - Вредности оцњеница C за правоугаоне трансформаторе са правоугаоним пресеком језгра (*)

$\lambda =$	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
m = 1	0,496	0,471	0,441	0,434	0,417	0,389	0,367	0,349
m = 1,5	0,531	0,505	0,484	0,464	0,447	0,418	0,393	0,375
m = 2	0,563	0,537	0,514	0,493	0,476	0,443	0,418	0,397
m = 2,5	0,594	0,566	0,546	0,520	0,501	0,468	0,441	0,419

$$\frac{W}{l_e} = \frac{4,72d}{(2\lambda + 5,7)d} = \frac{4,72}{2\lambda + 5,7}$$

Према овом образцу срачунају се односи W/l_e за разне вредности за λ
на се добијају резултати који се налазе у приложеној табели. Уно-
селем тих вредности у 5 образац имају се резултати из III табели.

$\lambda =$	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
$W/l_e =$	0,613	0,542	0,486	0,441	0,403	0,344	0,300	0,267

(*) Ево како се долази до тих вредности. - Језгра, чији пресек
има облик правоугаоника са странама a и b = m a, постављају се обично
тако да између њих остане растојање $e = 1,4a$, дакле:

$$b = m a, \quad 2c = e = 1,4 a$$

Висина језгра (h) може се узети извесан
број (λ) пута од ширине лимова:

$$h = \lambda a$$

Дужина јарма је:

$$f = 3a + 2e = 3a + 2 \cdot 1,4 a$$

$$f = 5,8 a$$

Укупна дужина магнетног кола:

$$l_e = 3h + 2f = 3\lambda a + 2 \cdot 5,8 a$$

$$l_e = (3\lambda + 11,6) a$$

Обим средњег навојака:

$$W = 2[(a+c) + (b+c)] = 2(a+b+2c)$$

$$W = 2(a + m a + 1,4 a)$$

$$W = (2m + 4,8) a$$

Тако се за карактеристични однос има:

$$\frac{W}{l_e} = \frac{(2m + 4,8) a}{(3\lambda + 11,6) a} = \frac{2m + 4,8}{3\lambda + 11,6}$$

По том образцу срачунае се однос W/l_e за разне вредности за m
и λ . Уношењем тих односа у 5 образац добијени су резултати из IV
таблице.

У V табели су вредности сачињенога С за једнофазне оклопљене трансформаторе са два језгра правоугаоног пресека. Димензије језгра (10 сл.) означене су овако: са а ширина лимова, са б дебелина наслаг лимова, која је извесан број (m) пута већа од ширине (тј. $b = ma$), са h висина језгра, која је извесан број (λ) пута већа од ширине, дакле $h = λa$. Таблица садржи вредности сачињенога С које одговарају различитим облицима једних вредности односа m и λ и претпошавши да двоострука ширина навојног простора (2c) износи: $2c = 1.4a$. Обично се узима $C = 0.55$.

V таблица - Вредности сачињенога С за једнофазне трансформаторе са два језгра правоугаоног пресека (*)

	λ=1	λ=1.5	λ=2	λ=2.5	λ=3	λ=4	λ=5	λ=6
m=1	0.638	0.605	0.577	0.552	0.530	0.492	0.462	0.437
m=1.5	0.684	0.648	0.617	0.591	0.567	0.528	0.495	0.468
m=2	0.726	0.689	0.656	0.627	0.602	0.560	0.525	0.497
m=2.5	0.765	0.726	0.692	0.662	0.636	0.591	0.555	0.525
m=3	0.802	0.761	0.726	0.694	0.666	0.620	0.583	0.551
m=4	0.838	0.795	0.760	0.727	0.698	0.651	0.613	0.580
m=5	0.873	0.829	0.793	0.760	0.730	0.681	0.642	0.608
m=6	0.908	0.863	0.826	0.792	0.762	0.712	0.672	0.637

(*) Срачунаване сачињенога С за једнофазне трансформаторе са два језгра правоугаоног пресека. - Између језгра обично се узима растојање 1,4 пута веће од ширине лимова, дакле:

$$e = 2c = 1.4a$$

Између димензија језгра могу односи бити различити, но такви да буде

$$b = ma$$

$$h = λa$$

Дужина јарма

$$f = 2a + e = 2a + 1.4a = 3.4a$$

Укупна дужина језгра и јармова

$$L_e = 2h + 2f = 2λa + 2 \cdot 3.4a = (2λ + 6.8)a$$

Обим средњег навојка

$$\Pi = 2(a + \frac{a}{2}) + 2(b + 2\frac{c}{2}) = 2(a + \rho + 2c)$$

$$= 2(a + ma + 1.4a) = 2a(m + 2.4)$$

$$\Pi = (2m + 4.8)a$$

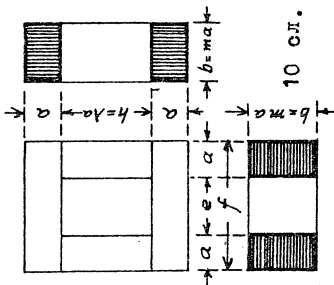
Тако се за карактеристични однос има:

$$\Pi = (2m + 4.8)a = 2m + 4.8$$

$$L_e = (2λ + 6.8)a = 2λ + 6.8$$

	λ=1	λ=1.5	λ=2	λ=2.5	λ=3	λ=4	λ=5	λ=6
m=1	0.773	0.694	0.630	0.577	0.532	0.460	0.405	0.362
m=1.5	0.886	0.796	0.722	0.662	0.610	0.528	0.465	0.415
m=2	1.000	0.898	0.815	0.746	0.688	0.595	0.524	0.468
m=2.5	1.112	1.000	0.908	0.831	0.767	0.663	0.583	0.522

Према том обрасцу срачунаване су вредности односа Π/L_e које се налазе у овој табели, а из њих, према 5 обрасцу сачињенога С из V таблице.



У VI табели су вредности сачињенога С за једнофазне оклопљене трансформаторе са једним језгром правоугаоног пресека, те вредности срачунаване су за магнетна кола (11 сл.) у којих је ширина навојног простора ($c = e$) једнака са ширином језгра, дакле $c = e = a$, а ширина оклопнога јарма износи половину те ширине ($a/2$). Сачињенога С срачунават је за разне вредности односа (m) између дебелине наслаг лимова (b) и ширине лимова у језгру ($m = b/a$) и за разне односе (λ) између висине језгра (h) и ширине његове ($\lambda = h/a$) уз претпошавку да је ширина навојног простора једнака са ширином језгра: $C = a$.

VI таблица - Вредности сачињенога С за једнофазне оклопљене трансформаторе са једним језгром правоугаоног пресека (*)

	λ=1	λ=1.5	λ=2	λ=2.5	λ=3	λ=4
m=1	0.838	0.778	0.726	0.645	0.582	0.484
m=1.5	0.890	0.825	0.771	0.726	0.654	0.544
m=2	0.938	0.869	0.813	0.766	0.726	0.605
m=2.5	0.983	0.912	0.852	0.802	0.763	0.656

Образац (1) је општи образац за срачунавање површине гвозденог пресека језгра (S_e). Са поделима за сачињенога С из таблица II - VI он ће вештом рачунању добро олужити при прорачуну трансформатора свих врста, од најмањих до највећих онага и свих напона.

(*) Ево како се срачунавају те вредности. - Као што је горе речено, односи између појединих димензија су ови:

$$e = c = a$$

$$b = ma$$

$$h = λa$$

$$f = a + 2c + 2\frac{a}{2} = a + 2a + a = 4a$$

$$L_e = \frac{2h}{\lambda} = h + 2\frac{1}{2}h + \frac{1}{2}2f = 2h + f$$

$$L_e = 2\lambda a + 4a = (2\lambda + 4)a$$

$$\Pi = 2(a + 2\frac{c}{2}) + 2(b + 2\frac{c}{2})$$

$$\Pi = 2(a + a + b + 2c) = 2(a + ma + 2a)$$

$$\Pi = (2m + 6)a$$

$$\frac{\Pi}{L_e} = \frac{(2m + 6)a}{(2\lambda + 4)a} = \frac{2m + 6}{2\lambda + 4}$$

11 сл.

По том обрасцу срачунавати су односи Π/L_e за разне вредности односа m и λ које се налазе у доној табели.

	λ=1	λ=1.5	λ=2	λ=2.5	λ=3	λ=4
m=1	1.333	1.142	1.000	0.888	0.800	0.666
m=1.5	1.500	1.286	1.125	1.000	0.900	0.750
m=2	1.666	1.430	1.250	1.111	1.000	0.833
m=2.5	1.835	1.575	1.375	1.222	1.100	0.917

Применом 5 обрасца срачунаване су вредности овчињенога С које се налазе у VI табели.

4.- **Одређивање пресека језгра трансформатора** (др. начин). -
 Полазимо од привидне снаге трансформатора: $P_m = q E J_n$. Како је
 ефективна вредност електричне силе

$$E = \frac{c}{\sqrt{2}} N \Phi_m = \frac{2\pi f N \Phi_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \pi f N \Phi_m$$

израз привидне снаге постаје:

$$P_m = q \sqrt{2} \pi f \Phi_m N J_n$$

Тај израз може се и овако написати:

$$P_m = q \sqrt{2} \pi f \Phi_m^2 \frac{N J_n}{\Phi_m}$$

Одатле:

$$\Phi_m^2 = \frac{1}{\sqrt{2} \pi} \frac{P_m}{N J_n q f}$$

$$\Phi_m = \frac{1}{\sqrt{2} \pi} \sqrt{\frac{P_m}{N J_n q f}}$$

Како је с друге стране пресек гвозденог језгра

$$S_{Fe} = \frac{\Phi_m}{B_m}$$

добива се

$$S_{Fe} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi B_m} \sqrt{\frac{P_m}{N J_n q f}}$$

Стављајући:

$$C = \frac{1}{\sqrt{2} \pi B_m} \sqrt{\frac{P_m}{N J_n q f}} = \frac{0,474}{B_m} \sqrt{\frac{\Phi_m}{N J_n}}$$

израз пресека језгра постаје:

$$S_{Fe} = C \sqrt{\frac{P_m}{q f}} \dots \dots \dots (1'a)$$

Димензија величине C (обр. 2) су $L^2 W^{-\frac{1}{2}}$ а јединица вена $m^2 J^{-\frac{1}{2}}$

Вредности величине C у добро саграђених трансформаторима се само у
 уским границама:

$$4 \cdot 10^{-4} m^2 J^{-\frac{1}{2}} < C < 6 \cdot 10^{-4} m^2 J^{-\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2'a)$$

Са мањом вредношћу з.б. C добија се мањи пресек (S_{Fe}) а већа висина је -
 згра (λ); са већом вредношћу добија се већи пресек а мања висина.
 У 1.обрасцу q означава број фаза или број језгра око којих су
 навоји. Најчешће означавају се те вредности за разне случајеве оту-
 бних и околних трансформатора.

Кад је чист гвоздени пресек одређен (1.обр.), може се срачунати
 колика треба да буде укупна дужина свих језгра и јармова (ℓ_{Fe}) да би

* Доказ:

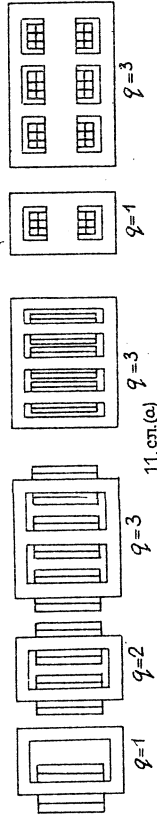
$$C = \frac{0,474}{B} \sqrt{\frac{\Phi_m}{N J_n}} = \sqrt{\frac{\Phi_m}{M \Phi^2}} = \sqrt{\frac{\Phi_m^2}{M \Phi^2}} = \sqrt{\frac{S'}{M \Phi}} = \frac{L^2}{\sqrt{W}} = L^2 W^{-\frac{1}{2}}$$

губитак снаге у гвож остае у малим границама. Губитак снаге у гвож-
 њу (P_g) или је дат и. се може избрати. За губитак у гвожђу пишемо:

$$P_g = I_1^2 m_g B_m^2$$

где I_1 означава губитак снаге по килограму лимова при $f = 50$ Hz и
 $B_m = 1$ Wb/m² = 1 T, B_m јачину удлива у језгру, која се узима између
 1,1 и 1,4 T а m_g масу лимова за коју се пише

$$m_g = \mu_{Fe} S_{Fe} \ell_{Fe}$$



Тако се добија:

$$P_g = I_1^2 \mu_{Fe} S_{Fe} \ell_{Fe} B_m^2$$

а одатле укупна дужина свих језгра и јармова:

$$\ell_{Fe} = \frac{P_g}{\mu_{Fe} S_{Fe} I_1 B_m^2} \dots \dots \dots (3a)$$

Ову укупну дужину ℓ_{Fe} ваља сад расподелити између језгра и јармо-
 ва. У трофазних стубних трансформатора однос између дужина трију језгра
 (3 λ) и двају јармова (2 f) обично се узима око 1 или нешто више (3 $\lambda/2f > 1$)
 За случај када је дозвољено добити приближну вредност површине пре-
 сека, може се 1.образац упростити тако да се у том упрошћеном облику
 може себи се разумети да такав упрошћен образац губи у општности и мо-
 же служити за једну врсту трансформатора.

Тако се за употребу навојара трофазних трансформатора, за напајање
 мрежа насеља може 1.образац довести на овај прост облик:

$$S_{Fe} = 15 \sqrt{P_g} \dots \dots \dots (1a)$$

где P_g означава привидну снагу у киловолтамперима а S_{Fe} површину пресека
 језгра у квадратним сантиметрима.

За употребу навојара врло малих једнофазних оклопних трансфор-
 матора 1.образац може се довести на овај прост облик:

$$S_{Fe} = 0,8 \sqrt{P_g} \dots \dots \dots (1b)$$

где P_g означава привидну снагу у волтамперима а S_{Fe} површину језгра у
 квадратним сантиметрима.

Пошто се са изабраном вредношћу за C срачуна према 1.обрасцу повр-
 шина чистог гвозденог пресека језгра (S_{Fe}), налази се површина његовог
 геометријског пресека (S), која је већа због осаме међу лимовима:

$$S = \frac{S_{Fe}}{k} \dots \dots \dots (6)$$

где k означава сачинилац чија вредност зависи од дебљине лимова и осаме.
 Дебљина осаме износи 0,04-0,05 mm, те је:

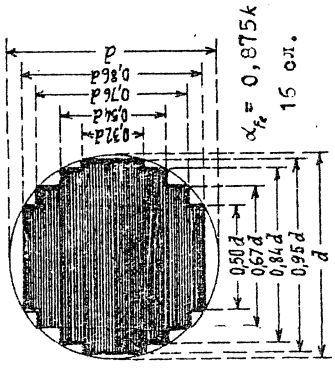
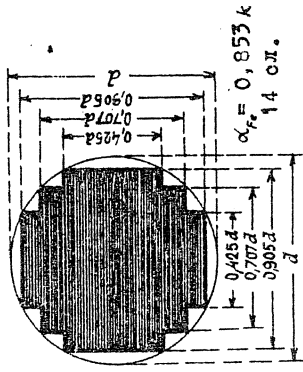
за лимове од 0,50 mm $k = 0,92$
 за лимове од 0,35 mm $k = 0,88$
 за лимове од 0,20 mm $k = 0,80$

5.-Одређивање остатак мера магнетног кола гра. димензиона. -
 Језгра се могу градити тако да пресек њихов буде правоугли или у виду крста. - Кад је пресек правоугли и навоји су правоуглини; кад је квадратни или у облику крста, навоји су кружни. Кружни навоји одликују се двема особинама због којих ове више потискују правоуглене: (1) при истој дужини обима, од оних геометријских облика круг је та која захвата највећу површину; (2) кружни навоји су најотпорнији према електромагнетним силама и најбоље издржавају магнетне сповјеве, када су оне силе изванредно јаке, јер силе ове делују тако да сваки навојак, на каквог облика био, доведу на кружни. Због тога се пресек језгра гради тако да што боље испуњује кружну површину навојака.

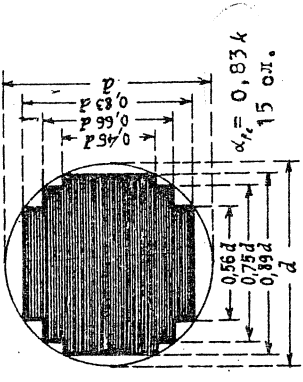
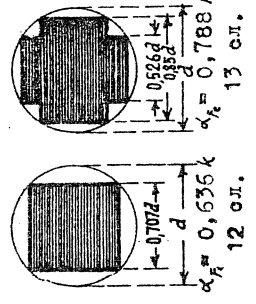
Корисни прозидени пресек језгра (S_z) не може испуњити целу површину круга описаног око језгра, $1/4$ дт. Однос између те две површине зове се сачинилац испуне гвођђак:

$$\alpha_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{I \cdot d^2} = \frac{4}{\pi d^2} S_{Fe} \dots \dots (7)$$

Највећа вредност сачинилаца испуне имала би се кад би пресек језгра био круг; у том случају би сваки лим морао имати другу ширину, што је незгодно и скупо. - Квадратни пресек језгра захтева само једну ширину лимова, али му



сек језгра (0,905d, 0,707d, 0,853 k).
 На 15 олици представљено је језгро сложено такође из лимова тријугу равних ширине али чији облик отстапа од онога са 14 слике у сврху



је сачинилац испуне мали (12 сл.) те се само понекад употребљава и то код врло малих трансформатора, сачинилац испуне је $\alpha_{Fe} = 0,636 k$.

Врло често употребљава се крстасто језгро, као на 13 олици, за које се морају имати две разне ширине лимова, одређене тако да површина пресека буде највећа (0,85d и 0,526d). У функцији пречника круга описаног око језгра геометријски пресек овога износи $S = 0,618d^2$. Сачинилац испуне је $\alpha_{Fe} = 0,788 k$.

Такође често граде се језгра са три разне ширине лимова. На 14 олици означено је колике треба да буду те ширине да би се добио највећи могући пресек језгра ($0,425d, 0,425d$); површина пресека је $S = 0,67d^2$.

добивања већег простора за смештај намотања, односно заживања, којима је притегнута наслага лимова. Ширине лимова и дебљине њихових наслага даде су на истој слици. Сачинилац испуне је $\alpha_{Fe} = 0,83 k$.

На 15 олици је језгро са четири ширине лимова; сачинилац испуне је $\alpha_{Fe} = 0,875 k$.

Код трансформатора великих снага предвиђају се промајшта у сврху бољег хлађења језгра и јермова. Сачинилац испуне мора се онда сачинити за усвојени пресек посебно.

Пошто се одлучимо за један од пресека језгра, срачунавамо пречник круга описаног око језгра (d) по овом обрасцу, изведеном из 7:

$$d = \sqrt{\frac{4 S_z}{\pi \alpha_{Fe}}} = 1,128 \sqrt{\frac{S_z}{\alpha_{Fe}}} \dots \dots (7')$$

Из пречника (d) срачунавамо, према подетцима датим уз слике 12-16, ширине лимова, дебљине појединих наслага и потребан број лимова. Ове димензије потребне су нам за план сечења лимова, који треба да буде једно засебно поглавље потпуног прорачуна.

Пре но што се приступи одређивању висине језгра (h), срачуна се електрична сила индуктована по навојку:

$$E_1 = 4,44 f B_m S_{Fe} \dots \dots (8)$$

и број навојака по фази секундарара, који се добија дељењем просторног напона празнога ходе (E_0) са електричном силом по навојку (E_1):

$$N'' = \frac{E_0}{E_1} \dots \dots (9)$$

Ако секундарни навоји треба да буду спрегнути у двоструку звезду ('двук-пак'), срачунава се број навојака по полунавоју ($N''/2$) према напону по полунавоју, који је $\sqrt{3}$ пута мањи од простотог:

$$N''/2 = \frac{E_0}{\sqrt{3} E_1} \dots \dots (9')$$

Резултат добијен по 9, односно 9' обрасцу биће најчешће разломљен број. Међутим мора се усвојити цео број навојака. Онда се узима најближи мањи или већи број. Да би напон празнога ходе остао на заданој вредности (U_0), срачуна се електромагнетна сила по навојку (E_1) која одговара новом броју навојака ($E_1 = E_0/N''$) и из ове, према 8 обрасцу нова вредност врхуначне јачине магнетног удлива (B_m). - Те нове вредности за B_m и за E_1 служиле у даљем прорачуна за срачунавање губитака у железу као и за одређивање броја навојака примара.

Номинална секундарна струја срачунава се из номиналне снаге узимајући као да је номинални напон једнак са напонам при празноходе холу:

$$U_n'' = U_0 \dots \dots (10)$$

$$I_n'' = \frac{P_{zm}}{U_n''} \dots \dots (11)$$

Таква погодба усвојена је да би се избегле несугласице о томе колика је вредност номиналне струје. Јасно је да при тој струји напон није U_n'' него да је услед падова напона, мањи и да је и стварна на корисна снага секундарара (P_{zm}) мање од номиналне (P_{zm}).

Најзад срачуна се ефективна вредност ампернавојака секундарара према томе је ли секундар намењен да буде спрегнут у троугао или у звезду, односно у двоструку звезду ('двук-пак').

$$M'' = \sqrt{3} N'' I_n'' \dots \dots (12)$$

Бад прелазимо на избор висине језгра (h), ко... ћемо учинити тражити средину између опречних услова које та висина треба да задовоља. Ти услови су ови:

- (1) У погледу масеминала и губитака снаге у њима (P_2) треба, при већ одређеном пресеку (S_2), тежити што мањој висини језгра (h).
- (2) У погледу магнетног распона и индуктивног пада напона ($\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1$) повољна је већа висина језгра.
- (3) У погледу клађења навоја, при већ изабраној густини струје у њима (Δ), добро је да висина језгра буде што већа, нарочито ако се тражи да трансформатор буде способан издржати отадашње преоптерећење у пута веће од номиналног.

Код малих трансформатора већа пажња мора се обратити на испуњење прва два услова, док се трећи лако остварује без нарочитих средстава.

Код већих и великих трансформатора мора се нарочито pazити да буде испуњен трећи услов.

Пошто цуловака топлота у навојима зависи од производа густине струје и густине ампернавојаке (ефективних), дакле од ΔA , остаје нам да, при већ усвојеној вредности за Δ , правилно изаберемо вредност за A .

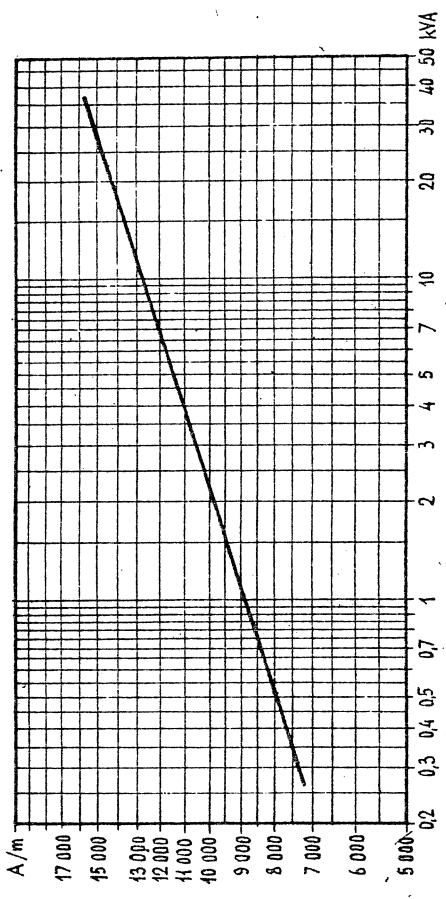
Кад прорачунавамо трансформатор мале прооптерертавности ($\gamma=1-1,1$), ослепљемо се на податке из дијаграма на 17 и 18 слика, који дају густину ампернавојаке (A) у зависности од привидне снаге нормалних трансформатора. Дијаграм на 17 слици односи се на отворене трофазне трансформаторе са ваздушним хлађењем, онај са 18 слике на трофазне трансформаторе у уљу. Оба дијаграма показују да се за густину ампернавојаке узиме сва већа вредност што је снага трансформатора већа али да при истој снази морамо A узети све мање што је напон виши.

Производ Ah представља ефективну вредност ампернавојаке који се обухватају са једним језгром. Он, дакле, мора бити једнак са збиром ампернавојаке примара и секундара ($сaM'+M''$), па како су ова два међусобом једнаки ($M' = M''$) има се:

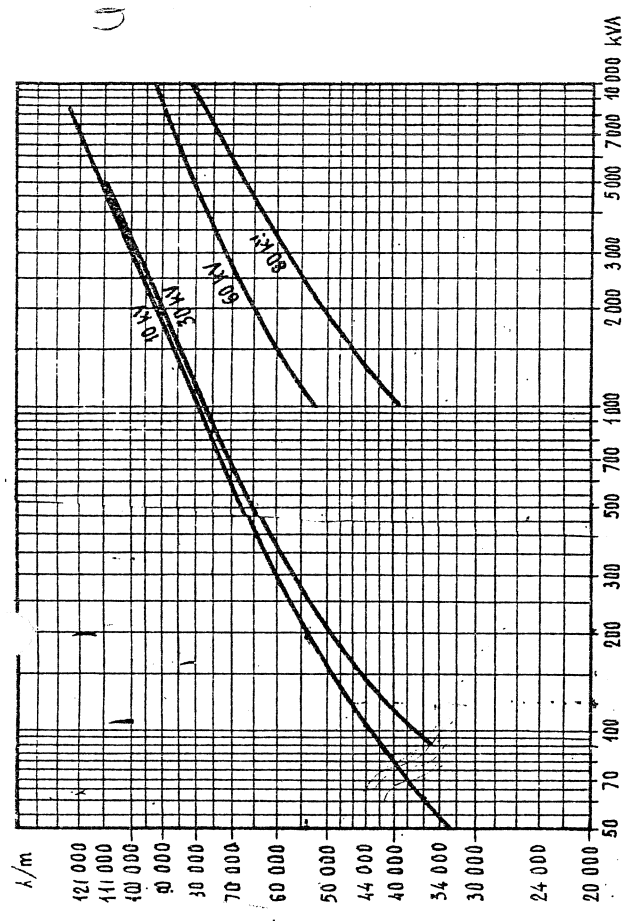
$$Ah = M' + M'' = 2M''$$

$$h = \frac{2M''}{A} \dots\dots\dots (13)$$

одакле



17 сл.- Густина ампернавојаке (A) у зависности од снаге трофазних трансформатора са ваздушним хлађењем



18 сл.- Густина ампернавојаке (A) у зависности од снаге трофазних трансформатора у уљу

Број ефективних ампернавојаке по фази секундара одређује се из напред наведеног броја навојака M'' , односно M'' и номиналне струје (J_n):

$$M'' = N J_n \gamma \text{ односно } M'' = \sqrt{3} N J_n \gamma \dots\dots\dots (14)$$

Напомињемо да код једнофазних трансформатора са два језгра 13 образаи даје укупну висину двају језгра јер су ампернавојни распоредени на оба језгра, по половина око свакога. Једнофазни трансформатор са два језгра је, према томе, двофазни у кога су навојнице ју фаза опречнати у опозицију.

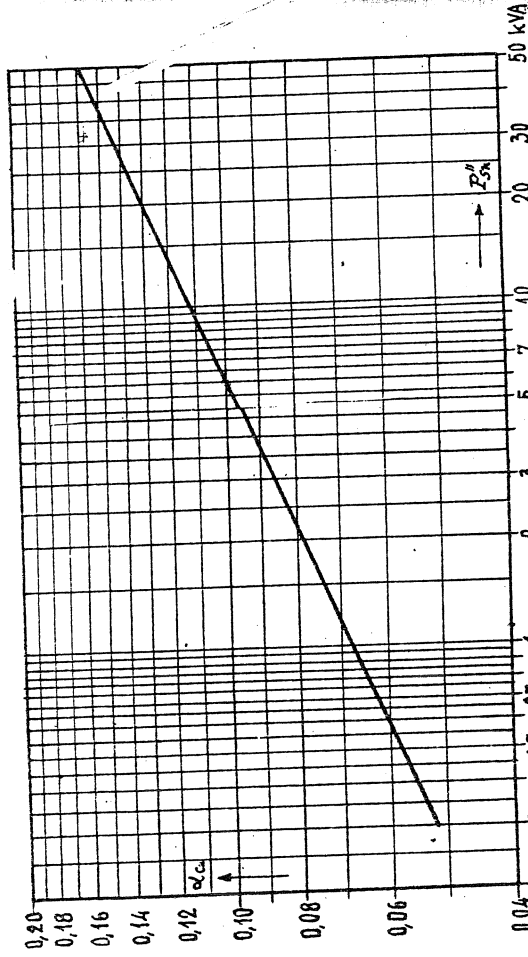
Резултат за h добијен по 13 образку обично се заокругли узимајући најближу већу или мању округлу вредност (на пр., наместо 0,291 м узима се 0,290 м или, наместо 0,345 м, узме се 0,345 м) па се онда према усвојеној висини (h), обратно, срачуна вредност густине ампернавојаке (A). Јер дијаграми дају средње вредности за A ; ми овтих вредности не морамо слепо држати; оне нам олује за проверу да нисмо заостранили у избору густине ампернавојаке.

Наведена висина језгра (h) обично ће испуњавати напред побројана три услова; но, ипак је не можемо сматрати дефинитивном док то стварно и не проверимо. А та провера биће могућна тек пошто у току даваг прорачуна будемо одредили губитке у гвожђу (P_2) и релативни индуктивни пад напона (\mathcal{E}_1). Вешт рачуналац може и одмах приступити брзом и приближном прорачуну тих величина по образцима који су даде дади.

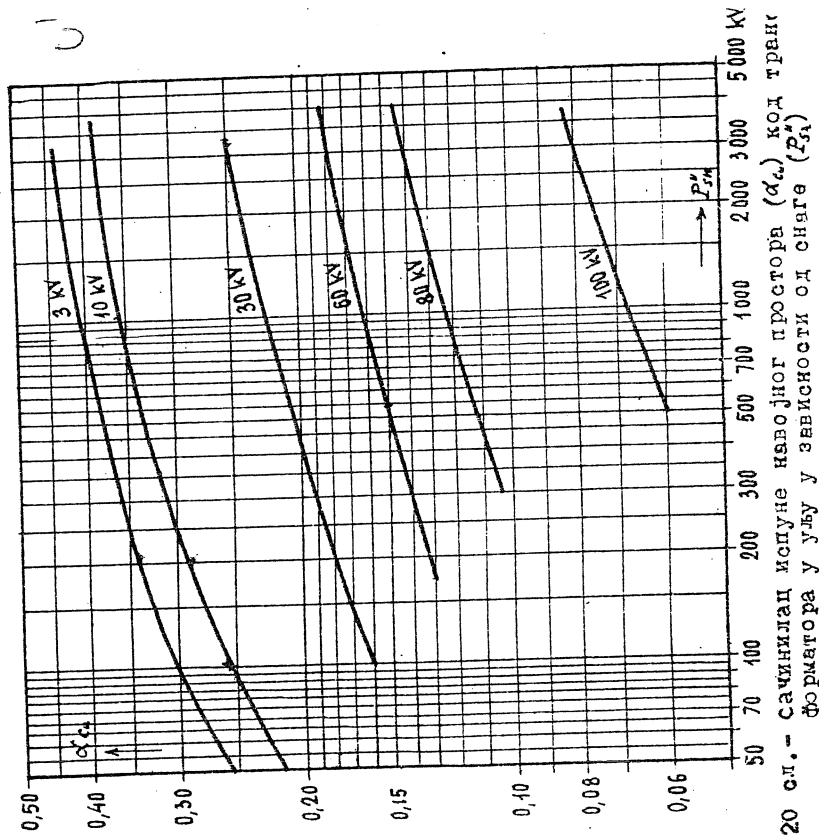
Бад се приступа одређивању ширине наводног простора ($с$). Претходно се срачуна површина наводног простора (S_n) према познатом образку:

$$S_n = \frac{2P_2 \gamma}{q E_1 \Delta \alpha_c} \dots\dots\dots (15)$$

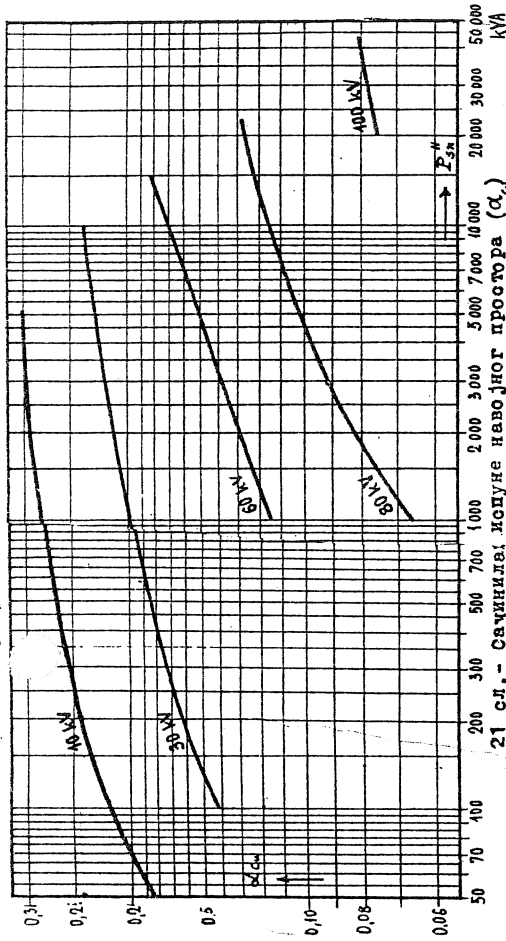
том образку познате су нам ове величине на деоноу његовој осим саишнога испуне наводног простора (α_c). За избор прикладне вредности страни



19 сл. - Оакинилац колуне навојног простора (α_c) у зависности од снаге трансформатора (P_m) са ваздушним хлађењем



20 сл. - Сачинилац испуне навојног простора (α_c) код транформатора у уљу у зависности од снаге (P_m)



21 сл. - Сачинилац испуне навојног простора (α_c) код охлађених трансформатора у уљу у зависности од снаге

сачиниоц α служи нам - сред сопотзеног искотства - дијаграми дати на слицима 19, 20 и 21 (изазјмећи из дивизица III).

Дијаграм на 19 слици даје средње вредности сачиниоца испуне (α_c) у зависности од снаге трансформатора са ваздушним хлађењем (отвоје-них).

Дијаграм на 20 слици даје средње вредности сачиниоца испуне (α_c) у зависности од снаге трансформатора у уљу са језгрина у истој равни и са левним навојима и тс за равне вредности здруженог напона. Разли-чица је да је α_c маке мал је напон виши, јер осам загрева све више просторе.

Дијаграм на 21 слици даје средње вредности сачиниоца испуне (α_c) у зависности од снаге и од напона охладених трансформатора у уљу.

Дијаграм на 19, 20 и 21 слици дају сачинилац испуне (α) за нормалне трансформаторе. При прораџуну трансформатора за веће предп-терезивности (на пр. у = 1,5) боље је уовојити нешто маке вредности за α .

Из површине навојнога простора (S_n), срачунае по 15 обрасцу, добија се ширина навојнога простора (c) дељенем те површине са ви-сином навојнога простора:

$$c = \frac{S_n}{h} \dots \dots \dots (16)$$

Код трансформатора ј којих је q фазних навоја (како приарних, тако и секундарних) сметено око исто толико (q) језгра, висина навојнога простора је уједно и висина језгра. - Код једнофазних тран-форматора са два језгра око свакога од ових сметена је половина на-воја (примара и секундара) што значи да је навојна висина два пута веће од висине језгра, дакле:

$$c = \frac{S_n}{2h} \dots \dots \dots (16a)$$

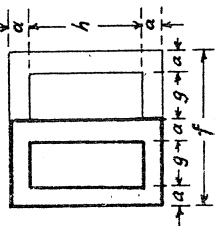
Растојање између језгра (g) код трансформатора са правоуглиним навојима

$$g = 2c \dots \dots \dots (17)$$

а код трансформатора са кружним навојем

$$g = 2c + (d - a) \dots \dots \dots (17a)$$

Дужина јармова је према 22 слици под претпоставком да су пресеци јарма и пресеци језгра исти:



- код трофазних трансформатора са три језгра $\dots \dots \dots f = 3a + 2g$
- код једнофазних трансформатора са два језгра $\dots \dots \dots f = 2a + g$
- код трофазних оклопљених трансформатора $\dots \dots \dots f = 2a + 2g$
- код једнофазних оклопљених трансформатора $\dots \dots \dots f = 2a + 2g$

$$\dots \dots \dots (18)$$

Маса лимова из којих се састоји магнетно ко-
жернак, т.ј. када је јачина упула иста и у јар-
мовима и у језгрима, израчунава се по овим слич-
ним обрацима:

- код трофазних трансфор-
матора са три језгра $\dots \dots \dots m_{Fe} = \mu_r (3h + 2f) S_{Fe}$
- код једнофазних трансфор-
матора са два језгра $\dots \dots \dots m_{Fe} = \mu_r (2h + 2f) S_{Fe}$
- код трофазних оклопљених
трансформатора $\dots \dots \dots m_{Fe} = \mu_r (6h + 2f) S_{Fe}$
- код једнофазних оклопљених
трансформатора $\dots \dots \dots m_{Fe} = \mu_r (2h + f) S_{Fe}$

$$\dots \dots \dots (19)$$

Ако јачина упула у јармовима није иста као
у језгрима, т.ј. ако пресеци тих делова нису једна-
ки, морају се масе језгра и јармова израчунати по-
себно.

За специфичну масу трансформаторских лимова (IV и специјалних)
узима се $\mu_r = 7600 \text{ kg/m}^3$ (за друге лимове види Основе II)

Губитак снаге у гвозду изводи се из μ_r се лимова и јединичног гу-
битка при усвојеној јачини упула ($I_{Fe} = I_{Fe} \delta_m$), који смо већ раније сра-
чунали:

$$P_{Fe} = I_{Fe}^2 m_{Fe} \dots \dots \dots (20)$$

Добијена вредност за P_{Fe} треба да буде неколико процената испод
оне на коју се фабрика уговором обавезала да би се имала резерва за
неизбежне вишкове ових губитака који могу настати услед обраде лимов-
ва и услед хистерезе и вихорних струја у гвозденим деловима ван лимова.

Ако је добијена вредност за P_{Fe} већа од уговорне, покушајемо јед-
но од ова два средства да је вратимо у прве границе.
Прво средство је да се из добијених димензија магнетнога кола
срачуна (по 5 обрасцу) права вредност константе C или да се из одно-
са $\lambda = h/d$ нађе та вредност из једне од таблица II-VI. Тако нађена
вредност слично је мања од оне ($C = 0,4$) са којом смо почели рачун.
Уносени је у I образац, добијемо мали пресеци S_{Fe} и онда мање d и f па
ле и маса лимова (m_{Fe}) и губитак у њима (P_{Fe}) бити смањени.

Друго средство је да се и за језгра магнетног упула у јармови-
ма усвоји вредност мања од оне у језгрима. На тај се начин повећава
пресеци па и маса јармова израсан број n пута али зато специфични гу-
битак постаје n^2 пута мањи а укупни губитак n пута мањи но што је смо
при једнакости пресека јармова и језгра (обично $n = 1,15 - 1,30$).

Ако ни ова две вредности не могућу, мора се рачун почети испо-
четка усвајајући ко- вредности за B_m и Δ .

Прорачун магнетнога кола трансформатора заврши се оклицом изра-
бом у размери у коју се убележе све нађене димензије, на пр. као
на сликама 7-11.

Да би прорачун навоја одговарао стварним могућностима извођења
у радници, потребно је да рачуналец буде добро упознат са материја-
лом и појединостима навојароке вештине. О томе ћемо, пре но што пре-
ћемо на прорачун навоја, дати неколико података у два наредна чланка.

б. - Спроводноци и лимова осаме. - За навоје трансформатора упо-
требљавају се спроводници кружног и правоугленог пресека.

За округле спроводнике стандартизовани су пречници (не пресеци
као код спроводника за електричне водове). Околови између прачника
спроводника до 1,5 мм су по 0,05 мм, изнад 1,5 мм они су по 0,10 мм.
Према томе имамо низ пречника: $\dots 0,10, 0,15, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,80, 1,00, 1,20, 1,50, 1,80, 2,00, 2,50, 3,00, 3,50, 4,00, 4,50, 5,00, 6,00, 7,00, 8,00, 10,00, 12,00, 15,00, 20,00, 25,00, 30,00, 40,00, 50,00, 60,00, 70,00, 80,00, 100,00, 120,00, 150,00, 200,00, 250,00, 300,00, 400,00, 500,00, 600,00, 700,00, 800,00, 1000,00$

Код спроводника правоугленог пресека димензије (ширина и дебљина)
узимају се у скоковима од по 0,1 мм. - Ивице спроводника правоугленог
пресека морају се заобликти јер би, иначе, оштре ивице секле осачу. По-
дупречник заобљена је око 0,5 мм при максим, око 1 мм при велим димен-
зијама спроводника. Због заобљена сивања је површина пресека. На за-
обљене одбија се у првом случају 0,25 мм, у другом 0,4 мм. - На при-
мер, пресеци спроводника $2x3,5$ мм рачуна се овако: $S = 2x3,5 - 0,25 = 7,0 - 0,25 = 6,75 \text{ mm}^2$.

Осеме спроводника за навоје трансформатора може бити: емаљ, сви-
ла (код меканих), ламук и најчешће хартија. - Димензије (пречник округ-
лог, ширина и дебљина правоугленог) осамљеног спроводника веће су од
димензија голог спроводника за двоструку дебљину осаме (σ). Уобичаје-
но је да се посматра обострано повећање услед осаме. Ако је d димен-
зија (на пр. пречник) голог спроводника, иста димензија осамљеног
спроводника биће

$$d_0 = d + \sigma \dots \dots \dots (21)$$

Повећање услед осаме (σ) бира се у првом реду према напонској
разлици међу навојима, затим према квалитету осамљеног материјала и,
назад, према дебљини спроводника. У VII таблица (Див. III) имамо по-
датке о повећању услед осаме (σ) за округле жице.

VII таблица - Повећање пречника услед осаме (σ) округлих жица

Пречник голог спроводника (d) мм	Врста осаме	Повећање пречника услед осаме (σ) мм
0,3 - 0,45	емаљ и ламук	0,15
	2 опреда хартијом	0,2
0,5 - 1,45	3 опреда хартијом	0,3
	2 опреда хартијом	0,3
1,5 - 2,0	3 опреда хартијом	0,4

Кад пресеци спроводника треба да буде изнад 4 мм², усваја се пра-
воуглен пресеци са којим се поочкиме боља мељна навојног простора.

Код трансформатора са ваздушним слањем (отворених) спроводних
правоугленог пресека осамљује се ламуком; навоји високог напона кад је вредност овога изнад
600 V, морају се импрегнирати смолом тако да у осами не остану ни
кајмаки међурифи ваздуха.