Како је напред срачунат и релативни омовски , напона ε_x (68 обр.) налази се сада релативни напон кратког споја:

$$\varepsilon_c = \sqrt{\varepsilon_n + \varepsilon_\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (77)$$

и његова права вредност:

$$U_c' = \varepsilon_c U_o' ; \quad U_c'' = \varepsilon_c U_o'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (78)$$

Тако су одређени сви подаци за срачунавање промене напона (ε) између празног хода и номиналног оптерећења при ма којем сачиниоцу снаге. Обично се ε срачуна при $\cos\varphi'' = 1$ и при $\cos\varphi'' = 0,8$, на тај начин што се најпре нађе:

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= \varepsilon_x \cos\varphi'' + \varepsilon_\gamma \sin\varphi'' \\ e_2 &= \varepsilon_\gamma \cos\varphi'' - \varepsilon_n \sin\varphi'' \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (79)$$

и онда:

$$\varepsilon = e_1 + \frac{e_2^2}{200} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (80)$$

Потпун прорачун треба да садржи и карактеристику $\varepsilon = f(\cos\varphi'')$. У ту сврху, наместо рачунања по 79 обрасцу, црта се упрошћени Капов дијаграм са кога се читају вредности за e_1 и e_2 за разне сачиниоце снаге ($\cos\varphi''$) и, срeђујући резултате у познату нам таблицу, срачунава се релативна промена напона ε (80 обр.) као што је показано у 11 чланку I одељка и у 3 и 4 вежби. - Најзад цртају се опољне карактеристике трансформатора $U = f(P_s'')$ за разне, напред усвојене вредности сачиниоца снаге и то за случајеве кад струја закашњава иза напона и за оне кад предњачи пред напоном.

13. - Степен искоришћења. - Губитке у железу (P_{Fe}) одредили смо раније и знемо да остају исти при свим оптерећењима. Такође смо срачунали губитке у бакру при номиналном оптерећењу (P_{cun}). При неком другом оптерећењу ови губици су

$$P_{cu} = P_{cun}\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (81)$$

За разне вредности односа P_s/P_{sn} на пр. за 0,1, 0,2, 0,3....1,0, 1,1,...) срачунају се по 81 обрасцу губици у бакру и збир губитака:

$$\Sigma(P_\gamma) = P_{Fe} + P_{cu} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (82)$$

па се за свако од тих оптерећења и за одређену вредност сачиниоца снаге нађе степен искоришћења по познатоме обрасцу:

$$\eta = \frac{P_s\cos\varphi}{P_s\cos\varphi + P_{Fe} + P_{cun}\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2} = 1 - \frac{P_{Fe} + P_{cun}\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2}{P_s\cos\varphi + P_{Fe} + P_{cun}\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2} \quad \ldots\ldots (83)$$

Најбоље је резултате средити у овакву таблицу:

$\frac{P_s}{P_{sn}}$	P_s VA	$\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2$	$P_{cu}=P_{cun}\left(\frac{P_s}{P_{sn}}\right)^2$ W	P_{Fe} W	$\Sigma(P_\gamma)$ W	$\cos\varphi''=1$: $P_s\cos\varphi$ W	$\cos\varphi''=1$: $P_s\cos\varphi+\Sigma(P_\gamma)$ W	$\cos\varphi''=1$: η	$\cos\varphi''=0,8$: $P_s\cos\varphi$ W	$\cos\varphi''=0,8$: $P_s\cos\varphi+\Sigma(P_\gamma)$ W	$\cos\varphi''=0,8$: η

Још се срачуна значајна привидна снага (P_s) при којој је степен искоришћења највећи по обрасцу

$$P_s = P_{sn}\sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (84)$$

као и вредност тог највећег степена искоришћења:

$$\eta_m = \frac{P_s\cos\varphi}{P_s\cos\varphi + 2P_{Fe}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (85)$$

На основи тих резултата цртају се карактеристике степена искоришћења наносећи по апсциси вредности привидне снаге секундара а по ординати η и то једна за сваку изабрану вредност сачиниоца снаге (на пр. за $\cos\varphi = 1$, за $\cos\varphi = 0,8$ итд.).

14.- Топлотни прорачун навоја - Први задатак овог прорачуна је да се уверимо да пораст температуре спољних површина навоја према уљу ($\theta_x - \theta_y$) неће ни при задатом преоптерећењу прећи допуштену границу од 19°С. Други задатак је да се провери колико је температура у унутрашњости колутова виша од температуре на њиховој површини и да та разлика није већа но што је допуштено (на пр. 8°С).

За јединичну снагу одношења топлоте са површине навоја утопљеног у уље узима се обично:

$$p_y = 38\sqrt[4]{\theta_x - \theta_y} = 38\sqrt[4]{19} \approx 80 \ \mathrm{W/m^2/°C} \quad \ldots\ldots\ldots (86)$$

под условом да уље слободно струји по површини навоја. Ако је струјање уља отежано због ускости међупростора, то се може узети у обзир на тај начин што се додирна површина навоја и уља у међупростору не рачуна цела, него један њен део, на пр. једна трећина или једна половина. На тај начин добија се једна мања сведена површина (S_x) и узима се да јединична снага одношења топлоте са те сведене површине остаје иста, $p_y = 80 \mathrm{W/m^2/°C}$.

Најлакше је сведену расхладну површину навоја, како примарног тако и секундарног, срачунати из сведеног квашеног обима по фази примара $\Sigma(\omega')$ и секундара $\Sigma(\omega'')$ и средње дужине навојка примара π' (48.обр) односно секундара π'' (27.обр.).

Сведени квашени обим срачунава се према димензијама навоја означеним на цртежу таквом као онај на 31.слици: квашени обим узима се цео ако уље слободно струји по свима странама; ако је струјање уља на некој страни отежано, квашени обим те стране узима се умањен, као што је и напред речено.

Сведене расхладне површине свих фаза примара, односно секундара су онда:

$$S_x' = q\pi\Sigma(\omega') \ , \qquad S_x'' = q\pi''\Sigma(\omega'') \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (87)$$

Са напред срачунатим губитцима снаге у бакру примара, P_{cun}' (56.обр.), односно секундара P_{cun}'' (35.обр.), одређују се разлике температуре између навоја и уља, најпре при номиналноме оптерећењу:

$$\theta_x' - \theta_y = \frac{P_{cun}'}{p_y S_x'} \ , \qquad \theta_x'' - \theta_y = \frac{P_{cun}''}{p_y S_x''} \qquad (88)$$

Затим при преоптерећењу:

$$\theta_x' - \theta_y = \frac{\nu^2 P_{cun}'}{p_y S_x'} \ , \qquad \theta_x'' - \theta_y = \frac{\nu^2 P_{cun}''}{p_y S_x''} \qquad (88a)$$

15.- Топлотни прорачун суда трансформаторовог - Да би смо изабрали повољне мере суда, најпре срачунамо пречник спољнег навоја

$$d' = d + 2(\kappa + a + \varepsilon + b) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (89)$$

и растојање између два суседна навоја (види 45.сл.):

$$e = 2c - (d' - d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (90)$$

Затим бирамо растојање између навоја и унутарње површине суда (a) углавном према напонској разлици која у најнеповољнијем случају може настати између навоја и суда; у случају када та напонска разлика није велика, растојање (a) бира се тако да се при сп[illegible]ну трансформатора у суд и при његовом подизању из суда избегне оздеђење навоја о ивице суда.

Дужина суда је онда (види 45.сл.)

$$A = 3d' + 2e + 2a_A \qquad (91)$$

а ширина

$$B = d' + 2a_B \qquad (92)$$

Висина суда бира се према висини језгра (h), ширини јармова (a') и дебљини гредице која се на дну суда ставља под доњи јарам (τ):

$$H = \kappa h + 2a' + \tau \qquad (93)$$

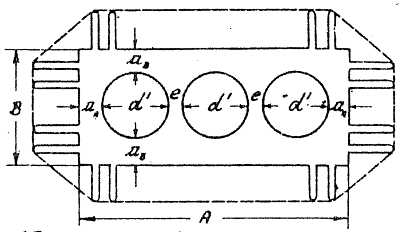
где је сачинилац пред h често $\kappa = 1,6$ или мање.

Сад се срачуна површина самога суда не узимајући у обзир ни дно ни поклопац:

$$S' = 2(A+B)\,H \qquad (94)$$

Укупна топлотна снага која при задатом преоптерећењу (ν) мора да прође кроз површину суда једнака је са збиром свих губитака:

$$\Sigma(P_\gamma)_\nu = \nu^2 P_{cun} + P_{fe} \qquad (95)$$



45.сл.- Одређивање димензија трансформаторског суда

Јединична снага одношења топлоте зрачењем и струјањем узима се:

$$\left.\begin{aligned} p_s &= 6 - 7\ \mathrm{W/m^2/°C} \\ p_c &= 7 - 8\ \mathrm{W/m^2/°C} \end{aligned}\right\} \qquad (96)$$

а највеће допуштено повишење температуре суда изнад температуре околног ваздуха:

$$\theta_2 - \theta_1 < 40\ °\mathrm{C} \qquad (97)$$

Површина самога суда (S') биће обично недовољна за одношење топлоте, сем у случају малих трансформатора од 5 и 10 kVA. Помоћу ребара или цеви мора се та површина повећати. При том се стварно повећава површина струјања (S_c) док је површина зрачења (S_s) само незнатно повећана. Однос површине струјања (S_c) према површини суда (S') наћи ћемо пишући:

$$\Sigma(P_\gamma)_\nu = (p_s S' + p_c S_c)(\theta_2 - \theta_1) = (p_s S' + p_c \kappa S_s)(\theta_2 - \theta_1)$$

одакле:

$$\kappa = \frac{S_c}{S'} = \frac{1}{p_c}\left[\frac{\Sigma(P_\gamma)_\nu}{S'(\theta_2 - \theta_1)} - p_s\right] \qquad (98)$$

У површину струјања улази површина суда S' и површина ребара односно цеви. Износ за који треба повећати површину помоћу ребара (S_p), односно помоћу цеви (S_y) је:

$$S_p = S_y = S_c - S' = \kappa S'_s - S' = (\kappa - 1)S' \qquad (99)$$

Сад треба одредити број и димензије ребара, односно цеви потребних за ово увећање површине.

а- **Ребра**.- Да струјање уља кроз унутрашњост ребра не би било отежано, потребно је да ширина ребра a (46.сл.) не буде никад мања од 5 mm а да спољни ваздух лако струји између ребара не треба растојање између ових b (46.сл.) да буде мање од 25 mm. Пошто према томе изаберемо ширине a и b, срачунамо приближни број ребара на већој (A) и на мањој страни суда (B):

$$n_A = \frac{A}{a+b} \qquad n_B = \frac{B}{a+b} \qquad (100)$$

За n_A и n_B усвојимо целе бројеве па је укупан број ребара:

$$n = 2(n_A + n_B) \qquad (101)$$

Висину ребара (c) наћи ћемо из односа κ ако укупну површину зрачења и струјања изразимо помоћу висине c:

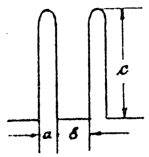
$$\kappa = \frac{S_c}{S'} = \frac{n(a+b+2c)H}{n(a+b)H} = 1 + \frac{2c}{a+b}$$

одакле

$$c = \frac{1}{2}(\kappa - 1)(a+b) \qquad (102)$$

Стварна површина струјања је онда:

$$S_c = \left[2(A+B) + n\cdot 2c\right]\left(H - \frac{a}{2}\right) \qquad (103)$$



$5\ \mathrm{mm} < a < 30\ \mathrm{mm}$
$25\ \mathrm{mm} < b < 70\ \mathrm{mm}$

46.сл.

Из једног брзог нацрта суда, учињеног у размери, одреди се обим суда Π, тј дужине конца којим би се суд могао опасати, па се срачуна стварна површина зрачења:

$$S_s = \Pi h \qquad (104)$$

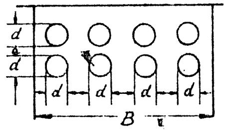
Повишење температуре суда при преоптерећењу (ν) изводи се из збира губитака срачунатог према обрасцу 95:

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\nu^2 P_{cun} + P_{fe}}{p_s S_s + p_c S_c} \qquad (105)$$

Повишење температуре при номиналном оптерећењу добија се на исти начин, стављајући у 105.обрасцу $\nu = 1$.

б- **Цеви**.- Спољни пречник цеви (d) треба изабрати тако да отпор на који уље наилази струјећи кроз цев не буде знатан. Обично се узима

$$30\ \mathrm{mm} < d < 60\ \mathrm{mm}$$



47.сл.-
$m = 2$

Цеви се стављају на свим површинама суда у једном, два или више редова (m). Између цеви треба оставити размак(а) довољан за слободно струјање ваздуха. Размак a мора бити у сразмери са пречником цеви d $a = \alpha d$.- Укупан број цеви које се могу да сместе на свим странама суда је очевидно:

$$n = m\,\frac{2(A+B)}{d+a} = m\,\frac{2(A+B)}{d(1+\alpha)} \qquad (106)$$

Ако се према усвојеној висини трансформатора (H) оцени средња дужина једне цеви (l_{cp}), онда је (99.обр.):

$$S_y = (\kappa - 1)S' = n\cdot\pi d\, l_{cp} = m\,\frac{2(A+B)}{d(1+\alpha)}\,\pi d\, l_{cp}$$

С обзиром на 94.образац добија се

$$(\kappa - 1)\,2(A+B)H = m\,\frac{\pi l_{cp}}{1+\alpha}\,2(A+B)$$

одакле

$$\frac{1+\alpha}{m} = \frac{\pi l_{cp}}{(\kappa - 1)H} \qquad (107)$$

Како су вредности l_{cp}, κ и H већ одређене, износ десне стране ове једначине може се срачунати. Пошто, с друге стране, број редова цеви (m) може бити само цео број, можемо стављајући редом $m = 1$, $m = 2$, $m = 3$ и тд. наћи повољну вредност за $1+\alpha$ и за α. Повољне вредноти односа $a/d = \alpha$ су око 1.

Кад су тако одређени α и m срачуна се размак између цеви $a=\alpha d$, затим, према 106. обрасцу, укупан број цеви n.

Сада се према цртежу, који се начини у размери, одреди дужина цеви у појединим редовима, срачуна се њихова укупна дужина и површина. Додајући овој површини површину суда (S') добија се укупна површина (S_c) струјања. Још се према цртежу одреди стварна површина зрачења (S_z) па се пораст температуре суда налази према 105. обрасцу.

16.- Временска константа загревања - Као што је познато, временска константа загревања (τ_3) претставља време за које би трансформатор достигао граничну температуру кад не би било хлађења, тј. када би сва топлота која настаје услед губитака остала у трансформатору и служила једино загревању његових делова.

Ако су нам познате масе појединих врста материјала из којих се трансформатор састоји (m), порасти њихове температуре ($\Delta\theta$) и специфичне топлоте (c), онда можемо срачунати укупну топлоту потребну за загревање трансформатора:

$$W_{tk} = \Sigma(c m \Delta\theta) \qquad \text{(108)}$$

Та топлотна енергија развиће се од губитака снаге у железу (P_k) и у бакру (P_{cu}) при номиналноме оптерећењу (P_{cun}) за време τ_3:

$$W_t = (P_k + P_{cun})\tau_3 = \Sigma(P_r)\tau_3 \qquad \text{(109)}$$

Изједначењем, добија се временска константа загревања

$$\tau_3 = \frac{\Sigma(c m \Delta\theta)}{\Sigma(P_r)} \qquad \text{(110)}$$

Порасти температуре појединих делова трансформатора ограничени су прописима ИБК. Ти порасти и специфичне топлоте појединих материјала дати су у овој таблици

Материјал	$\Delta\theta$ °C	c J/kg°C
бакрени спроводници	60	390
осама спроводника	60	1 500
активно железо (лимови)	50	460
неактивно гвожђе	50	460
суд железни лим	40	460
уље	50	2 000

17.- Срачунавање струје краткога споја, трајне и ударне - У току прорачуна одредили смо све величине потребне за срачунавање струје краткога споја.

Струје трајног кратког споја (J_c) добијамо по обрасцу из релативног напона краткога споја (ε_c) и номиналне струје

$$J_c = \frac{J_n}{\varepsilon_c} \qquad \text{(111)}$$

Ударна струја краткога споја (i_{cr}) одређује се по обрасцу

$$i = (1 + e^{-\frac{t}{\tau}}) J_c \sqrt{2} \qquad \text{(112)}$$

Та струја је највећа ако се кратки спој деси у тренутку кад напон примара пролази кроз нулу ($u=0$) тј. када је утицај највећи ($\Phi' = \Phi'_m$) и њен врхунац настаје половину периоде иза тог тренутка, тј. за $t = T/2 = 0{,}01$ s. У обрасцу је са τ означена временска константа која се може одредити из еквивалентних отпора, активног (ρ) и реактивног (x_r)

$$\tau = \frac{l_r}{\rho} = \frac{x_r}{\omega\rho} \qquad \text{(113)}$$

Реактивни отпор x_r срачунат је по једном од образаца 71, 72, 73, 74.- Активни отпор срачуна се према обрасцу

$$\rho = \frac{P_{cun}}{q J_n^2} \qquad \text{(114)}$$

18.- Срачунавање напрезања навоја услед електромагнетних сила при краткоме споју.- У трансформатора са концентричним навојима електромагнетне силе делују радијално и то на спољни навој упоље, тежећи да га истегну, на унутарњи унутра, тежећи да га сплоште на језгро трансформатора. Укупна сила на цео навој је:

$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{\pi}{h}(Ni)^2 \qquad \text{(115)}$$

Јединични притисак који та сила производи на површину навоја πh је:

$$p = \frac{F}{\pi h} = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{Ni}{h}\right)^2 \qquad \text{(116)}$$

На спољни навој делује овај притисак на начин сличан ономе на који пара делује на цилиндрични котао. Укупна тангенцијална сила (F_t) којој су изложени сви спроводници у једном пресеку је:

$$F_t = \frac{F}{\pi} \qquad \text{(117)}$$

Ако се навој састоји из N навојака и ако је S_{cu} пресек спроводника, напрезање материјала биће

$$\sigma = \frac{F_t}{N S_{cu}} = \frac{F}{\pi N S_{cu}} \qquad \text{(118)}$$

19.- Услов да цена трансформатора буде најмања.- При успостављању образаца за одређивање основних мера магнетног кола и избор пресека спроводника узет је у обзир једино однос губитака снаге, $\gamma = P_k/P_{cun}$, као услов економичности рада трансформатора а није постављен никакав услов о цени његовој.

Цена трансформатора за дату намену (P_n, f, U_n) сразмерна је са основним издатком за активне материјале (лимове и спроводнике). Ако са y_k и y_{cu} означимо цену по јединици масе (по kg) лимова и спроводника припремљених за намот, са m_k и m_{cu} масе употребљених активних материјала, можемо за основну цену трансформатора писати

$$Y = y_k m_k + y_{cu} m_{cu}$$

Тај збир биће најмањи кад је $y_k m_k = y_{cu} m_{cu}$ тј. кад је

$$\frac{m_{Fe}}{m_{cu}} = \frac{y_{cu}}{y_{Fe}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (119)$$

Према томе, __најнижа цена трансформатора за дату намену постиже се ако се удеси да масе лимова и бакра буду у обрнутом односу њихових јединичних цена.__

Да видимо сад како се тај услов о цени трансформатора слаже са условом економичности његовог рада, тј. са односом губитака $\gamma = P_{Fe}/P_{cun}$. За тај однос можемо писати:

$$\gamma = \frac{P_{Fe}}{P_{cun}} = \frac{m_{Fe}\,\Gamma_{Fe}'}{m_{cu}\,\Gamma_{cun}'}$$

одатле

$$\frac{m_{Fe}}{m_{cu}} = \gamma\,\frac{\Gamma_{cun}'}{\Gamma_{Fe}'} = \gamma\,\frac{2{,}42\cdot\Delta^2}{\Gamma_{Fe1}'\,B_m^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (120)$$

У овом обрасцу треба густину струје Δ изразити у A/mm^2 а све остале величине у јединицама Борђијевог система.

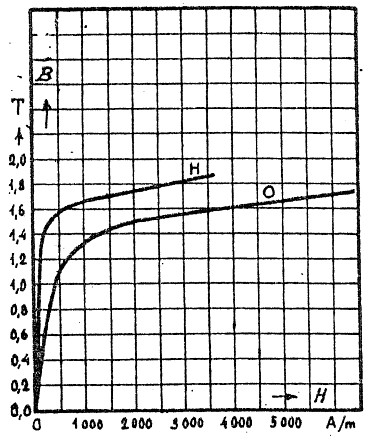
Однос губитака γ бира се тако да годишњи степен искоришћења енергије буде што већи. Вредност односа маса активних материјала срачунат према 120.обрасцу обично неће бити једнак са оним који даје 119.образац, тј. најекономичнији трансформатор није увек и најјефтинији.

Пример: У трансформатора од 250 kVA, 50 Hz, усвојено је $\gamma = 0{,}287$ $\Delta = 2{,}75\ A/mm^2$, $B_m = 2{,}75$ T, $\Gamma_{Fe1}' = 1{,}3$ W/kg, те је према 120.обр.:

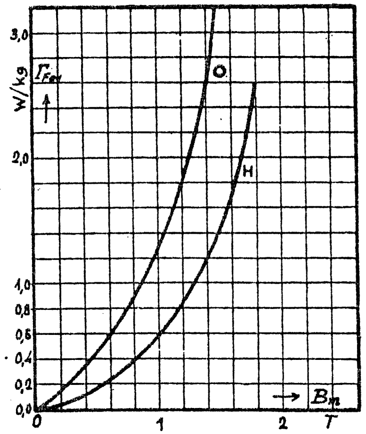
$$\frac{m_{Fe}}{m_{cu}} = \gamma\,\frac{2{,}42\cdot\Delta^2}{\Gamma_{Fe1}'\,B_m^2} = 0{,}287\,\frac{2{,}42\cdot 2{,}76^2}{1{,}3\cdot 1{,}3^2} = 2{,}39$$

Ако је однос ц а $y_{cu}/y_{Fe} = 10/4 = 2{,}5$ овај трансфоматор није далеко од најјефтинијег.

20.- __Напредак у грађи трансформатора.__- У последње време (од 1947.) учињен је знатан напредак у производњи трансформаторских лимова. Под разним именима (транкор, хиперсил,....) појавили су се лимови који се од



48-сл. Карактеристика магнећења $B=f(H)$
О- обичних трансформаторских лимова
Н- лимова „хиперсил"



49-сл. Јединични губитак $\Gamma_{Fe1} = f(B_m)$
О- у обичних трансформаторских лимова
Н- у лимовима „хиперсил"

ранијих трансформаторск лимова одликују много већом магнетном упливношћу (μ) и знатно мањим јединичним губитком снаге услед хистерезе и вихорних струја, $\Gamma_{Fe1}' = (\eta f + \sigma f^2) = P_{Fe}/m\,B_m^2$

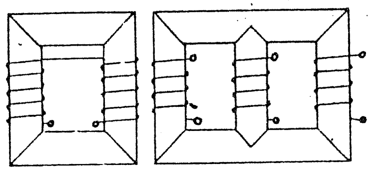
На 48.слици приказане су карактеристике магнећења $B = f(H)$ лимова хиперсил (H) и обичних (O) а на 49.слици карактеристике јединичних губитака у зависности од јачине уплива: $\Gamma_{Fe1}' = (\eta f + \sigma f^2) = f(B_m)$ двеју врста лимова.

Такви резултати постигнути су употребом железа одређеног састава из ког се хладним ваљањем у нарочитим околностима добијају лимови са оријентованом (управљеном) кристалном структуром.

Међутим високу магнетну упливност имају ови лимови само у једном правцу – у правцу ваљања; у другим правцима она је мања.

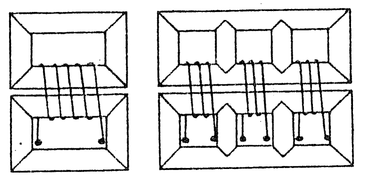
Из те њихове особине потиче потреба да се магнетно коло трансформатора слаже тако да се у свим деловима његовим правац уплива поклапа са правцем ваљања лимова .- Као што показују 50. и 51.слика, то се постиже на тај начин што се саставци језгра са јармовима, односно са деловима оклопа изводе под углом од 45° . На 50.слици показано је како се слаже коло стубних, на 51. сл. оклопних трансформатора.

При обради (исецању,пробијању, ...) лимови губе у извесној мери ове механичке особине које им се могу повратити одгревањем. У случају нових лимова (хиперсил, транкор и др.) одгревање се намеће да би се обновила управљена структура, поремећена при обради.



(а) (б)

50.сл.- Магнетно коло стубног трансформатора од лимова са управљеном кристалном структуром: (а) једнофазног, (б) трофазног.



(а) (б)

51.сл.- Магнетно коло оклопног трансформатора од лимова са управљеном кристалном структуром: (а) једнофазног, (б) трофазног.

Дабисмо приказали шта се може постићи применом нових лимова упоредимо два трансформатора А и В у којих би све димесије, бројеви навојака, пресеци спроводника и вредности напона примарног и секундарног, били исти али магнетно коло у А сложено од обичних лимова, у В од лимова "хиперсил".- Јачина уплива била би иста у оба трансформатора, на пример $B_m = 1{,}4$ T. Из дијаграма на 49.слици види се да би при истој вредности однос губитака снаге празнога хода двају трансформатора био:

$$\frac{P_{oB}}{P_{oA}} = \frac{\Gamma_{Fe1B}'}{\Gamma_{Fe1A}'} \approx \frac{1{,}2}{2{,}6} \approx 0{,}45$$

док би губитци у бакру били исти у оба трансформатора, $P_{cuB} = P_{cuA}$.

Посматрајмо сад трећи трансформатор С чије би магнетно коло било од хиперсила али такав да губитак празнога хода у њега буде исти као у трансформатора А од обичних лимова, дакле

$$P_{oc} = P_{oA}$$

Да зујање лимова услед магнетострикције у трансформатора C не буде веће од оног у A, може се у C усвојити јачина уплива 18% већа но у A, дакле:

$$\frac{B_{mC}}{B_{mA}} = 1{,}18$$

Услов да губитци празнога хода буду једнаки значи да и губитци у железу морају бити једнаки, дакле:

$$m_{FeC}\,\Gamma_{Fe1x}\,B_{mC}^2 = m_{FeA}\,\Gamma_{Fe10}\,B_{mA}^2$$

одакле

$$\frac{m_{FeC}}{m_{FeA}} = \frac{\Gamma_{Fe10}}{\Gamma_{Fe1x}}\left(\frac{B_{mA}}{B_{mC}}\right)^2$$

Како је за обичне лимове $\Gamma_{Fe10} = 1{,}3$ W/kg а за хиперсил $\Gamma_{Fe1x} = 0{,}6$ W/kg и $B_{mC}/B_{mA} = 1{,}18$, биће

$$\frac{m_{FeC}}{m_{FeA}} = \frac{1{,}3}{0{,}6}\left(\frac{1}{1{,}18}\right)^2 = 1{,}56$$

Изразимо сад масе лимова помоћу пресека и дужина магнетних кола и специфичних маса лимова μ_A и μ_C:

$$\frac{m_{FeC}}{m_{FeA}} = \frac{\mu_C\, l_C\, S_{FeC}}{\mu_A\, l_A\, S_{FeA}}$$

Ако узмемо да су дужине двају магнетних кола исте, $l_C = l_A$ добијамо, с обзиром да је $\mu_C \approx \mu_A$,

$$\frac{S_{FeC}}{S_{FeA}} = \frac{m_{FeC}}{m_{FeA}} = 1{,}56$$

Однос магнетних уплива биће

$$\frac{\Phi_C}{\Phi_A} = \frac{B_{mC}\, S_{FeC}}{B_{mA}\, S_{FeA}} = 1{,}18 \cdot 1{,}56 = 1{,}84$$

Јасно је да ће и однос електричних сила по навојку бити исти

$$\frac{E_{1C}}{E_{1A}} = \frac{\Phi_C}{\Phi_A} = 1{,}84$$

При истом напону U однос бројева навојака биће:

$$\frac{N_C}{N_A} = \frac{U/E_{1C}}{U/E_{1A}} = \frac{E_{1A}}{E_{1C}} = \frac{1}{1{,}84} = 0{,}543$$

Из односа пресека лимова налазимо однос геометријских пресека језгра узимајући у обзир сачиниоце испуне; за хиперсил је $\kappa_C = 0{,}945$ а за обичне лимове $\kappa_A = 0{,}88$ те је:

$$\frac{S_C}{S_A} = \frac{S_{FeC}/\kappa_C}{S_{FeA}/\kappa_A} = \frac{\kappa_A}{\kappa_C}\,\frac{S_{FeC}}{S_{FeA}} = \frac{0{,}88}{0{,}945} = 1{,}56 = 1{,}46$$

При истој густини струје губитци у бакру двају трансформатора сразмерни су са бројем навојака (N) и са обимом, односно и са пречником навојака (d). Однос навојака смо горе нашли; однос пречника је:

$$\frac{d_C}{d_A} = \sqrt{\frac{S_C}{S_A}} = \sqrt{1{,}46} \approx 1{,}2$$

Према томе је однос губитака у бакру

$$\frac{P_{CuC}}{P_{CuA}} = \frac{N_C d_C}{N_A d_A} = \frac{1.2}{1{,}84} \approx 0{,}65$$

Како су при истој густини струје цуловски губитци сразмерни са масама бакра биће:

$$\frac{m_{CuC}}{m_{CuA}} = \frac{P_{CuC}}{P_{CuA}} = 0{,}65$$

Најзад можемо посматрати трансформатор D са магнетним колом од хиперсила у кога би губитци снаге били сведени у истом односу α према губитцима у трансформатору A са обичним лимовима, дакле

$$P_{FeD} = \alpha P_{FeA} \qquad \text{и} \qquad P_{CuD} = \alpha P_{CuA}$$

Поступајући као у случају трансформатора C полазимо усвајајући исти однос јачина магнетног уплива:

$$\frac{B_{mD}}{B_{mA}} = 1{,}18$$

Из услова $P_{FeD} = \alpha P_{FeA}$ излази

$$m_{FeD}\,\Gamma_{Fe1x}\,B_{mD}^2 = \alpha\, m_{FeA}\,\Gamma_{Fe10}\,B_{mA}^2$$

те је однос маса:

$$\frac{m_{FeD}}{m_{FeA}} = \alpha\,\frac{\Gamma_{Fe10}}{\Gamma_{Fe1x}}\left(\frac{B_{mA}}{B_{mD}}\right)^2 = \alpha \cdot \frac{1{,}3}{0{,}6}\left(\frac{1}{1{,}18}\right)^2 = 1{,}56\,\alpha$$

Однос активних пресека исти је као однос маса:

$$\frac{S_{FeD}}{S_{FeA}} = \frac{m_{FeD}}{m_{FeA}} = 1{,}56\,\alpha$$

Однос електричних сила по навојку, једнак односу уплива, је:

$$\frac{E_{1D}}{E_{1A}} = \frac{\Phi_D}{\Phi_A} = \frac{B_{mD}\, S_{FeD}}{B_{mA}\, S_{FeA}} = 1{,}18 \; 1{,}56\,\alpha = 1{,}84\,\alpha$$

Однос бројева навојака је:

$$\frac{N_D}{N_A} = \frac{U/E_{1D}}{U/E_{1A}} = \frac{E_{1A}}{E_{1D}} = \frac{1}{1{,}84\,\alpha} = \frac{0{,}543}{\alpha}$$

Однос геометријских пресека језгра:

$$\frac{S_D}{S_A} = \frac{S_{FeD}/\kappa_D}{S_{FeA}/\kappa_A} = \frac{\kappa_A}{\kappa_D}\,\frac{S_{FeD}}{S_{FeA}} = \frac{0{,}88}{0{,}945}\,1{,}56\,\alpha = 1{,}46\,\alpha$$

Однос пречника:

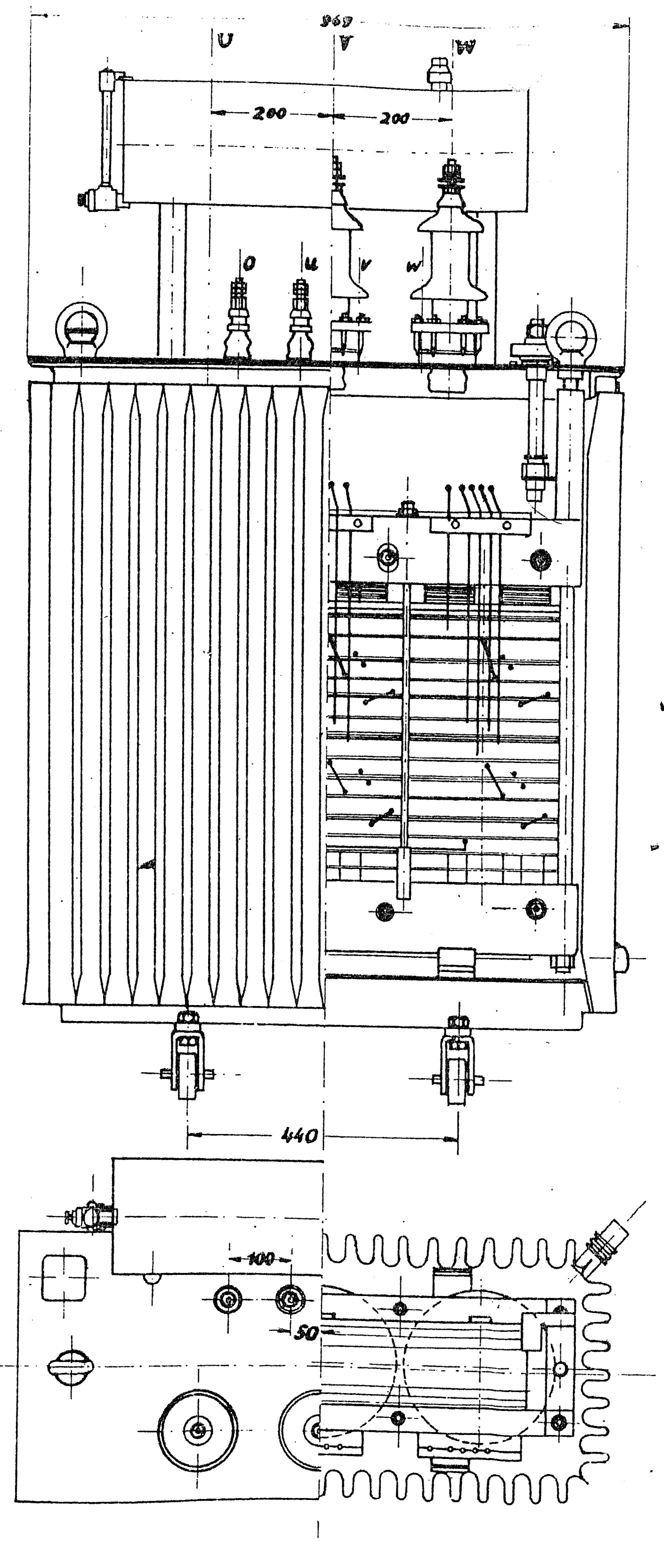
$$\frac{d_D}{d_A} = \sqrt{\frac{S_D}{S_A}}\;\sqrt{1{,}46\,\alpha} = 1{,}2\sqrt{\alpha}$$

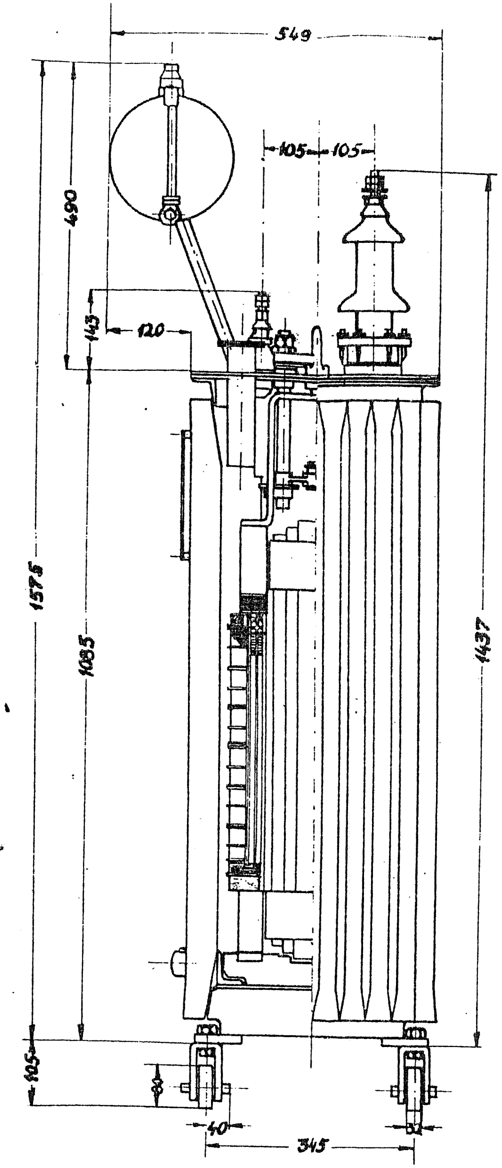
Како се овде захтева да буде $P_{CuD} = \alpha P_{CuA}$ излази:

$$\alpha = \frac{P_{CuD}}{P_{CuA}} = \frac{d_D}{d_A}\,\frac{N_D}{N_A} = 1{,}2\sqrt{\alpha}\cdot\frac{1}{1{,}84\,\alpha} = \frac{0{,}65}{\sqrt{\alpha}} \;; \qquad \alpha^2 = \frac{0{,}65^2}{\alpha} = \frac{0{,}422}{\alpha}$$

$$\alpha = \sqrt[3]{0{,}422} = 0{,}75$$

Тај резултат казује нам да се са лимовима хиперсил може добити трансформатор у кога су губитци у железу и у бакру сведени на 75% својих вредности у трансформатора са обичним лимовима а да однос губитака остане исти ($\gamma_D = \gamma_A$).

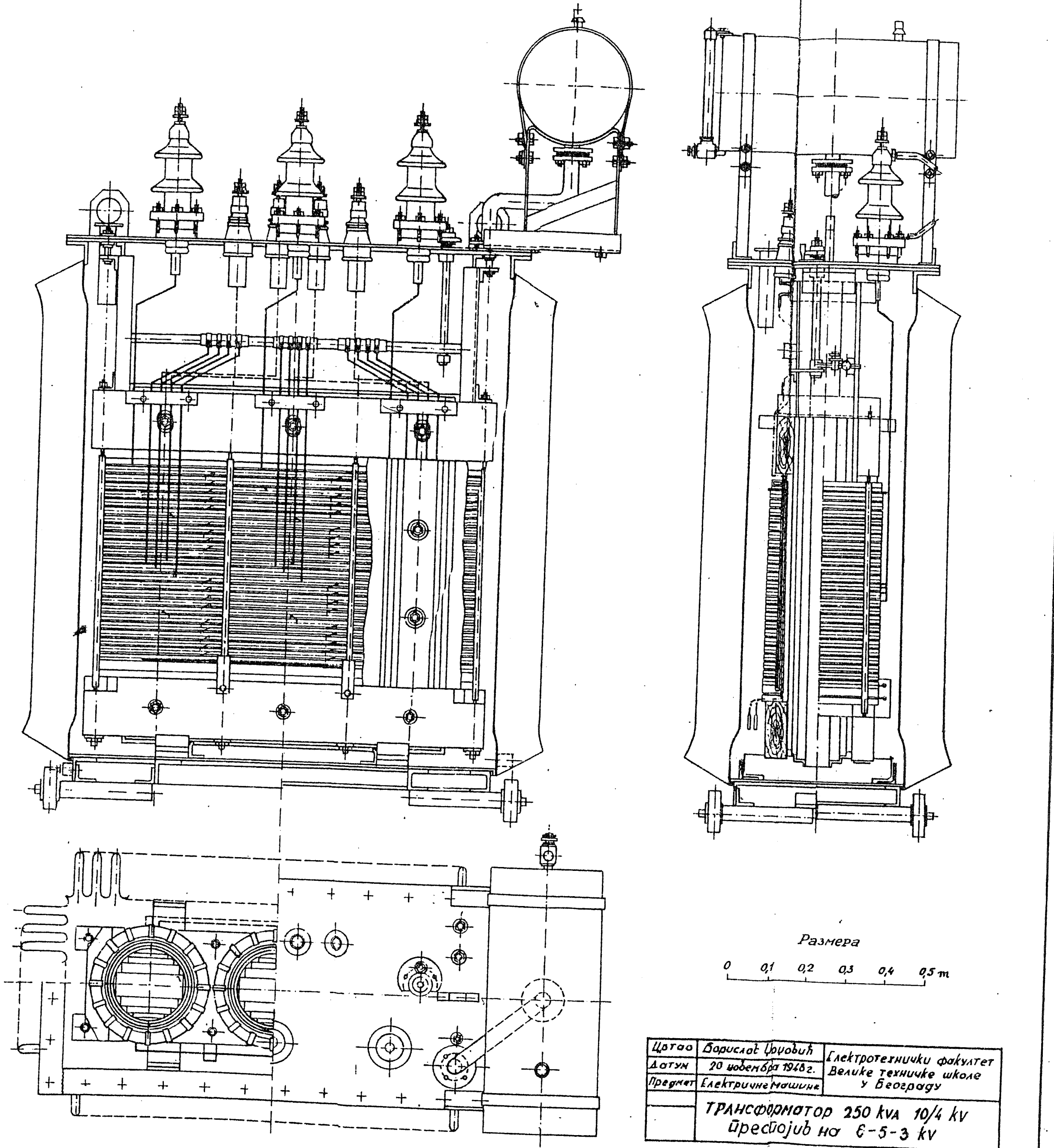




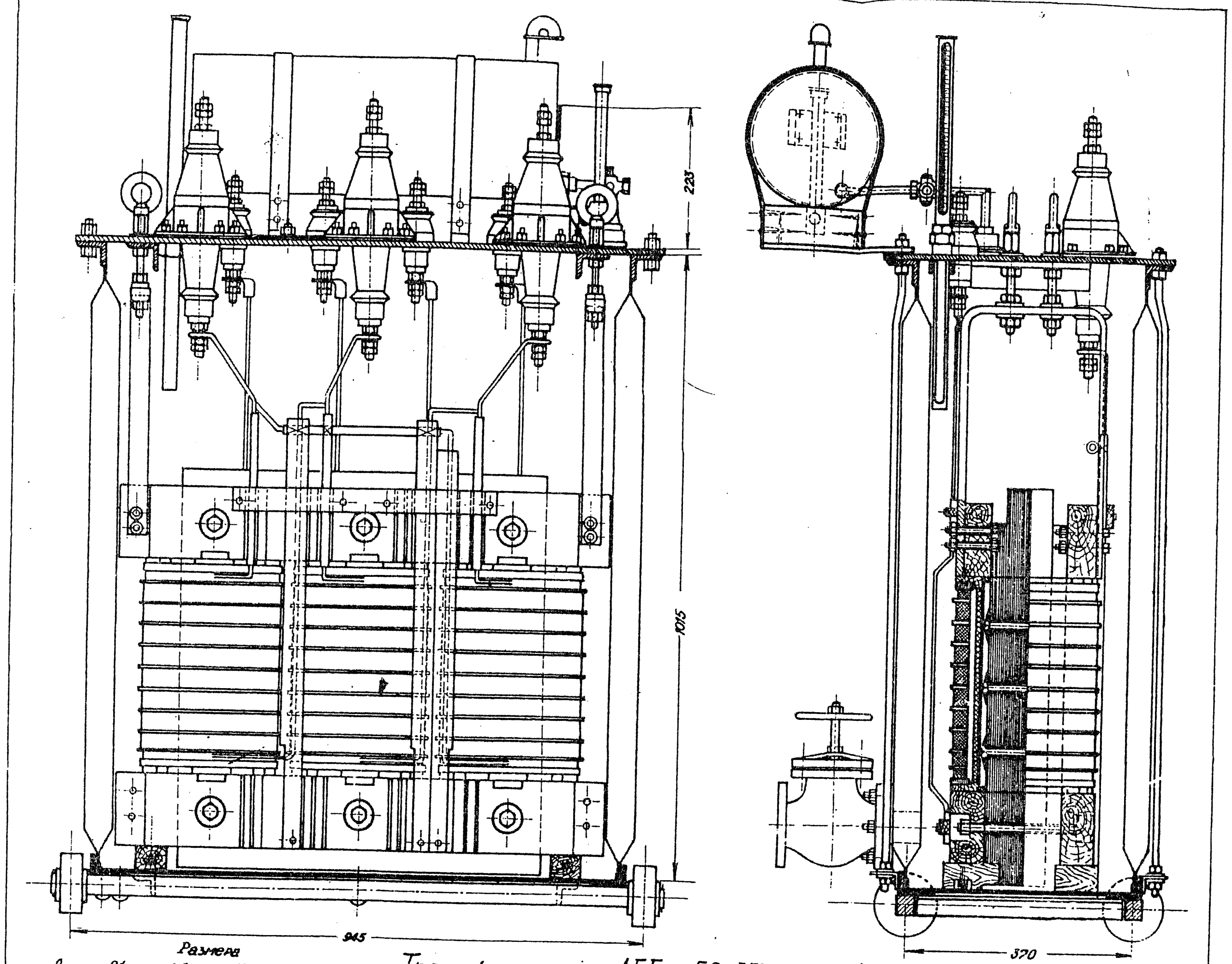
Размера

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 m

Цртао	Радивоје Павловић	Т. В. Ш. Електротехнички факултет Београд	
Датум	1-XII-1948 год.		
Предмет	Електричне машине		
Трофазни трансформатор у уљу снага 100 kVA напон до 10 kV		Цртеж бр. 1	



Цртао	Борислав Ђуровић	Електротехнички факултет Велике техничке школе у Београду
Датум	20 новембра 1948 г.	
Предмет	Електричне машине	
	ТРАНСФОРМАТОР 250 kVA 10/4 kV преспојив на 6-5-3 kV	



Трансформатор АЕГ ~ 50 kVA, 6.000/190 V △Y