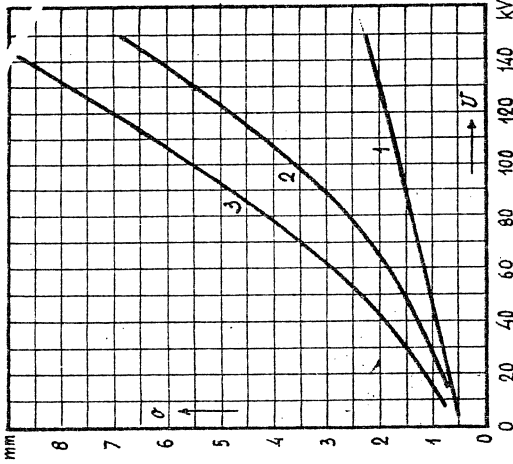
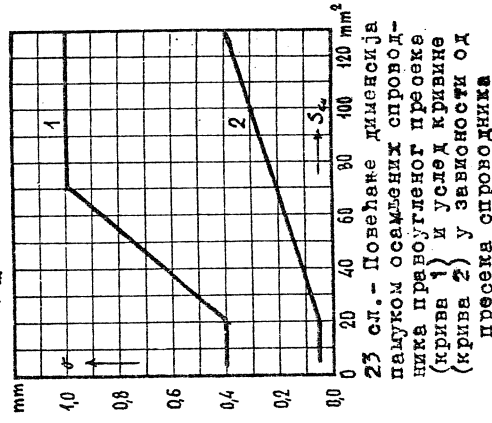


Код малих трансформатора у улогу употребљиве памучна осама поглавито за навоје ниског напона. Спроводици до 30 mm<sup>2</sup> опредељују се а они изнад 30 mm<sup>2</sup> оплетљују се памуком. Преко 60 mm<sup>2</sup> спроводник се не узима масиван, него се више голих спроводника мањег пресека ставе паралелно па се целина омота памучном траком. - На 23 слици је дијаграм (Лив. III) из кога се види колико осиноси повећање димензија (α) памуком осамљеног правоуглог спроводника у зависности од пресека његовог (S<sub>н</sub>).



Код трансформатора у улогу највише се употребљава осама од хартије, нарочито за навоје високог напона. - На 24 слици је дијаграм из кога се види колико се рачуна на повећање димензија усмад осамљеног спроводника (α) округлог или правоуглог пресека у зависности од номиналног напона. На том дијаграму односи се крива 1 на унутарње, нормалне колутове, крива 2 на други улазни колути са појачаном осамом. - Подаци из дијаграма важе за спроводнике до 20 mm<sup>2</sup>, за пресеке од 20 до 60 mm<sup>2</sup> треба додати још 0,2 mm а од 60 до 100 mm<sup>2</sup> још 0,4 mm.

Појачана осама ставља се на око 10% од укупног броја навојака. Кривих 1 - 3% док је још јако појачану осаму, тј. текву осаму која неће бити проиђена ни онда када напон између две суседна навојака или два суседна слоја достигне вредност номиналног напона трансформатора.

7. - Извођење навоја. - Овде ћемо дати неколико података о начину извођења навоја за трансформаторе.

Навоји ниског напона трансформатора за напајање мрежа у насељима (U<sub>н</sub> ≤ 400V) изводе се у виду соленоиде који затвара пету навојну висину. Сем за врло мале сингле, спроводници су обично знатног пресека те је најчешће потребно делити их стављајући два, три или више спроводника паралелно.

Кад навоји треба да буду опрегнути у сложену звезду (шк-пак) стављају се по два полунавоја око сваког језгра централно један

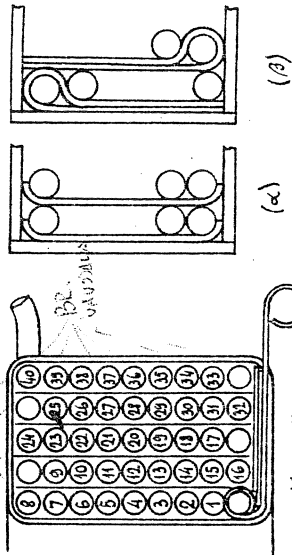
око другог. Између навоја ставља се валдак од преспана, чија се дебелина узима 0,5 - 1 mm из механичких разлога. Ако је потребна већа поделност, може валдак отпати тако да између полунавоја остане међупростор којим ће уље моћи да отруји.

Дебелина секундара у два полунавоја спроводи се код нормалних трансформатора до 500 kVA и када је спрега навоја звезда или троугла. На тај начин омогућује се већи број комбинација у случају евентуалне промене напона.

Навоји високог напона, чак и при централној распореди, увек се деле у колутове.

Колутови се изводе као прости или, најчешће, као двоструки. На 25 слици је пример простог колута од округле жице. Тај колути састоји се из 5 слојева.

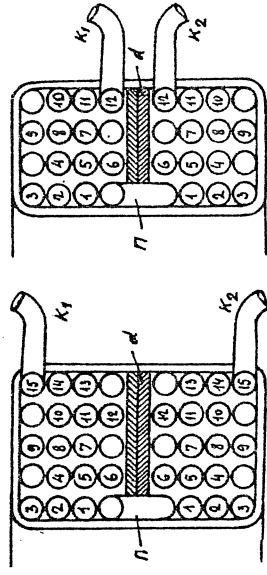
Ова 8 навојака у слоју, докле укупно из 5x8 = 40 навојака. За 8 навојака је знатно слоја потребно је 9 места. Код напона разлика између два суседна слоја достиже знатну вредност, слојеви се одвајају паирном траком (0,05 - 0,10 mm). Слојна осама колути може бити од преспана или омот памучне траке. - Код простог колути почетак се налази на унутарњој страни његовој, докле на месту незгодном за спој са суседним колутом. Обично се та незгода избегава на начин који је претстављен на 25 слици: на почетни крај округле жице залепи се бакрена трака која се бакрена трака стави се осама од преспана; између траке и бочне стране колути стави се осама од преспана доволне дебљине.



25 сл.

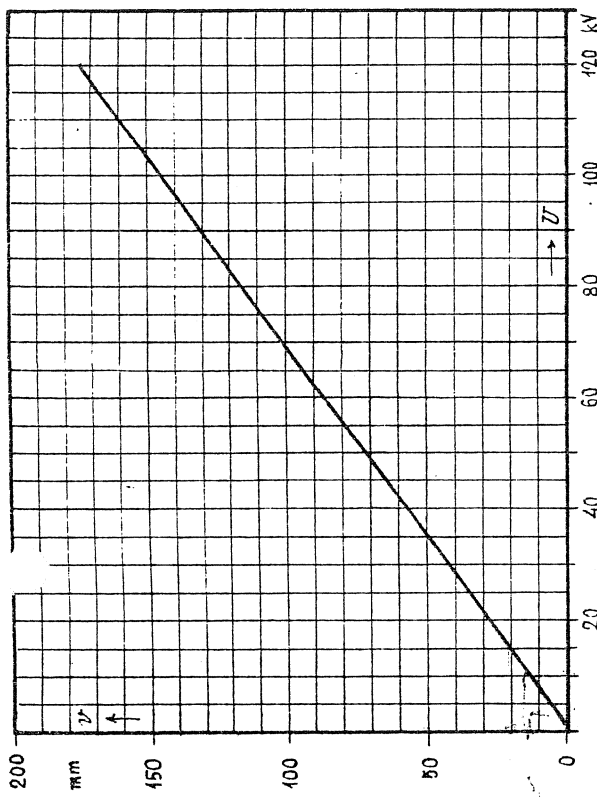
На 26 сл. α и β претстављено је како се изводи осама међу слојевима: на слици α код нормалних, на слици β код колутова са појачаном осамом.

На 27 слици α и β су примери двоструких колутова од округле жице. Сваки се састоји од два полуколута. Двоструки колути изводи се овако: полуколутови навојају се на машини засебно и то један у једном, други у супротном смеру; између полуколутова стави се осама од преспана (d) доволне дебљине (1 - 2 mm); почетци крају полуколутова (п) се зачупе; поврх свега дође осама од преспана или омот памучне траке. - Када је број слојева непаран (као на пр. на 27 сл. α, где износи 5) крајеви двоструког колути (K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub>) дођу раздвојени преломом високом двоструког колути. Напротив, када је

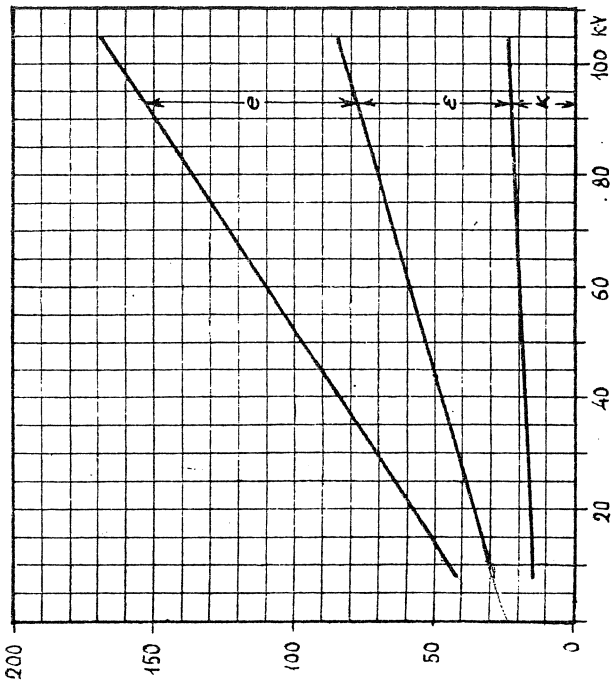


(α)

27 сл.

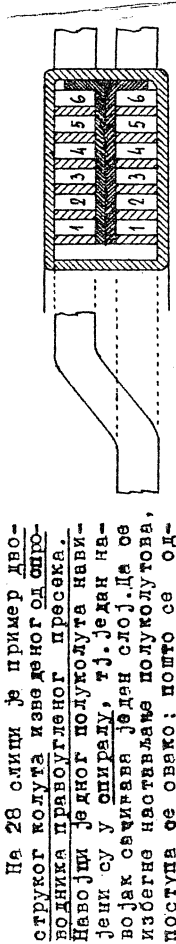


32 сл. - Растојање између јарма и навоја високог напона у функцији (здруженог) номиналног напона



33 сл. - Растојање између суседних навоја ју фаза (e); растојање између навоја високог и ниског напона (z); растојање између навоја ниског напона и језгра (k) у функцији вредности високог напона.

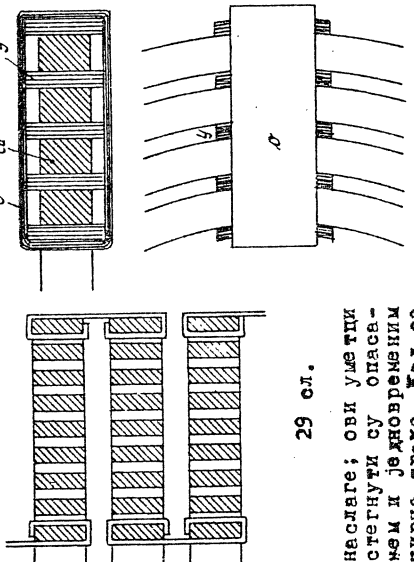
број слојева паран (као на 27 сл.  $\beta$ , где износи крајњи ( $k, k'$ ) добу један уз други, раздвојени само дебином осам ( $\alpha$ ) између полуколута. - У погледу сигурности осаме као и о обзиром на погодност извођења веза између суседних двооструких колута много је бољи први случај ( $\alpha$ ). Увек, дакле, треба тежити да број слојева копадне непадан.



28 сл. Напојене

струког колута изнедемог од оштроводника правоугленог пресека. Навојци једног полуколута навијени су у спиралу, тј. један навојак свичава један слој. Да се избегне наставаљање полуколута, постоја се овако: пошто се одмери довољна дужина за двооструки колут, спроводник се на средини савије као што је показано на левој страни 28 слике па се, почињући од тог правца, граде полунавои као две спирале у супротним смеровима. Осам међу навојима може бити виша саопштени памучик или папирни омот в може се толи спроводник навијати са траком од папира или преспане, као што је и представљено на 28 слици. Између полуколута ова ставља се преспан доволне дебљине, општа осам двооструког колута је преспан или омот памучном траком.

Спирални колтови нарочито су повољни у случајевима када је ради слабења потребно повећати површину којом се навој додирује са уљем, односно са ваздухом. Остављајући довољан размак између појединих навојака и између суседних колтова (29 и 30 сл.), постоји се да сваки спроводник буде са свих страна купан уљем, односно ваздухом. - На 29 слици показано је како се помоћу обумица прелази из једног спиралног колута у други. - На 30 слици представљено је како држи растојање између навојака и између суседних колтова. На неколико места по обиму ставе се између навојака уметци ( $y$ ) од тврде лепљене папирне наслаге; ови уметци заједно са спроводницима стегнути су опасачима ( $o$ ) наликеним навијачем и једновременим лепкемем под притиском папирне траке. Када се колтови спаљу, пази се да опасачи ( $o$ ) навоју један на други тако да између колута остаје размак једнак двоострукој дебљини опасача.



29 сл.

30 сл.

Растојања између појединих навоја и ототојања ових од околних железних делова морају се предвидети тако да прескок електричне вредности буде искључен не само при номиналном и при огледном напону него и при изванредним напонима који се могу јавити при раду трансформатора. Знејуби вредност пробојног напона разних осамних материјала и овајајући извесан савијенац сигурности, може се за прописани огледни напон срачунати потребно растојање тако да пробој буде искључен не само при огледном напону него и при извесан број пута вишем напону. - У првом прорачуну трансформатора нећемо се упутити у те рачуне, него ћемо се за избор потребних растојања послужити дијаграмима са 32 и 33 слике (Лившиц III).

Дијаграм на 32 слици даје потребно растојање  $\nu$  између јарма и навоја у функцији здруженог номиналног напона под којим се овај назази.

Дијаграм на 33 слици даје у функцији здруженог напона три вредности: растојање (e) између средњих навоја двају фаза, (где дај 31 слику), растојање (ε) између навоја високог и ниског напона, отстојање (κ) навоја ниског напона од језгра.

**δ.** - **Сметњај навоја.** - Навоје ниског и високог напона треба сложити тако да висина навојног простора ( $h_p$ ) буде што боље искористљена и да дебљине навоја (a и b) и ширина простора између њих (ε) буду што мање. То је потребно да би индуктивни пад напона био што мањи. Одишта, тај пад напона сразмеран је са еквивалентним индуктивним отпором ( $X_L$ ) за који се, на пр. у случају цевних навоја, према 71 обрачу, има:

$$X_L = 0,44 N^2 \frac{l}{\kappa} (\epsilon + \frac{a+b}{3}) = 19,04 N^2 \frac{l}{\kappa} (\epsilon + \frac{a+b}{3})$$

У смањивши ширине међупростора (ε) ограничени смо: (1) напонском разликом између примара и секундара од које зависи дебљина осамног ваљка који се мора ставити између навоја; (2) потребом да између ваљка и навоја остане међупростори довољне за несметано стругање уља, односно ваздуха, у сврху одношања топлоте са површине навоја (за уље бар 5 мм, за ваздух више). За прву оцену ширине међупростора (ε) служимо се дијаграмом са 33 слике.

И висина навојног простора (h) не може се потпуно искористити за навоје јер је потребно: (1) оставити растојања ( $\nu$ , односно  $\nu'$ ) између навоја и јармова (32 сл.), (2) предвидети осаму између навоја однемо између колутова и (3) оставити међупросторе (m на 31 сл.) између колутова (односно између навоја) у сврху повећања површине ( $S_k$ ) којом се навој додирује са уљем, односно са ваздухом.

Растојање између навоја и јармова треба да буде изабрано према висини огледног напона коме ће трансформатор бити подвргнут у огледу диелектричне издржљивости ( $2U_k + 1000V$ ). Дијаграм на 32 сл. даје средњу вредност тог растојања у зависности од здруженог напона примара, односно секундара. За навоје код којих је здружени напон испод 1000V дијаграм даје мале вредности отстојања; из чисто механичких разлога узима се  $\nu = 10$  мм.

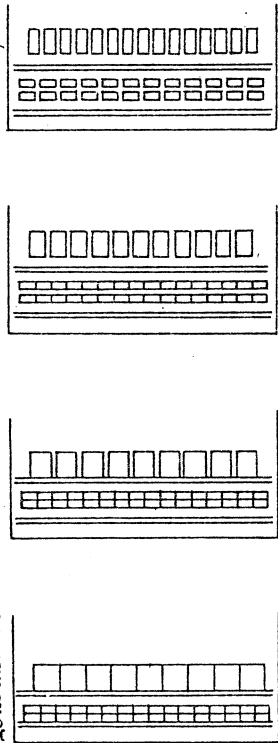
О осами између навоја дају су подати у 4 чланку. Код се навој састоји из колутова, сваки колут добија још и општу осаму. Ако се колут гради на калупу од пресипана, у општу осаму рачунају се дебљине тог пресипана и омот пакућном траком који повећава дименсије за дебелину 0,5 - 1 мм. Ако се, у сврху бољег хлађења, одбаци калуп од пресипана, омот пакућном траком остаје.

При избору броја и ширине простора између појединих колутова (m на 31 сл.), односно ширине простора између навоја ниског напона, служимо се обрачком изведеним у Топлоћноме прорачуну трансформатора, којим, решен по  $\kappa_x$ , гласи:

за профане икоформа-  

$$\kappa_x = \frac{A \Delta}{70 \cdot 000 \cdot 10^2 \nu^2}$$
  
 торе у уљу.....  
 за профане трансформатора  $\kappa_x = \frac{A \Delta}{15 \cdot 700 \cdot 10^2 \nu^2}$  ..... (??)  
 са ваздушним хлађењем.....

Тај образац даје нам одмахтад увећања раскладне површине навоја ( $\kappa_x$ ). Сачинио је  $\kappa_x$  показује колико пута већа треба да буде површина  $S_k$ , са које уље, односно ваздух, односи топлоту са навоја, од површине ваљка ка замишљених у средњих међупростора између примара и секундара (која износи  $q_{HP} = q_{HP} (d + 2\kappa + 2a + \epsilon)$ ) на да заравна навоја не дребје допустену границу. - Пошто, дакле, према већ усвојеним вредностима за A, Δ и ν обрачунамо  $\kappa_x$ , одлучујемо се о степену издељености завоја при чему се донекле можемо ослоњити на податке означене на 34 слици.



$\kappa_x < 2$  (а)  $\kappa_x \approx 3$  (б)  $\kappa_x > 4$  (г)

34 сл. - Разни начини извођења навоја трансформатора према потреби увећања раскладне површине

Ако нађемо да је  $\kappa_x < 2$ , можемо навоје извести према 34 сл. в: навој приљубљени уз осамне ваљке, између навојака, односно између колутова међупростори неопходни.

Ако за  $\kappa_x$  нађемо вредност око 3, можемо навоје извести према 34 сл. б: навој ниског напона одвојен од оба осамна ваљка промајшима за отрујаке ваздуха, односно уље, навојци приљубљени један уз други; навој високог напона уз осамни ваљак али између колутова остављени међупростори (m).

Ако за  $\kappa_x$  нађемо вредност око 4, можемо навоје извести према 34 сл. в: навој високог напона подељен у два полунавоја одвојена међупростором, промајшита између полунавоја и осамних ваљака; навој високог напона издељен у већи број колутова, промајшита између ових и осамног ваљка.

Ако је  $\kappa_x$  веће од 4, навоји се могу извести према 34 сл. г: навој ниског напона издељен размацима између навојака и промајшима, тако да уље, односно ваздух, купа сваки спротивник са свих страна; навој високог напона издељен у велики број колутова, размачнутих међупросторима (m), промајшита између навоја и осамног ваљка.

Јасно је да се у наровито тешким условима хлађења могу усвојити и други начини извођења навоја.

Сметњај навоја мора у прорачуну трансформатора бити тако проучен да његово извођење не наилази ни на какве тешкоће у раднојници. То је прст геометријски проблем, али захтева доста отргљива и пање, да би се дошло до најповољнијег решења. Како се не могу дати општи образци који би важили за све могуће случајеве, ми ћемо у наредним чланцима на примерима показати пут којим се може доћи до добрих решења.

9. - Прорачуи навоја високог напона. - Број навојака ( $N''$ ), односно ( $N''_k$ ) и номиналну струју секундара ( $J''$ ) срачунава се напред према 9, односно 9' и 11 обрасцу. Према усвојеној густини струје ( $\Delta$ ) одређује се пресек спроводника:

$$S'' = \frac{J''}{\Delta} \dots \dots \dots (23)$$

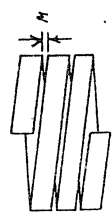
Ако секундар треба да буде у опреси Z, морамо имати два полунавоја са по  $N''/2$  навојака. Али и при опреси у изводу се секундар често са два полунавоја; некад ће бити zgodно ставити те полунавоје на ред а не опет паралелно; у првом случају полунавој ће имати  $N''/2$  навојака а спроводник ћео пресек ( $S''$ ); у другом сваки полунавој имаће пун број навојака ( $N''$ ) а спроводник половине пресека ( $S''/2$ ).

Укупну навојну висину ( $h''$ ) налазимо одбирајући од висине језгра ( $h$ ) двоструки размак између навоја и јармова ( $\rho$ ):

$$h'' = h - 2\rho \dots \dots \dots (24)$$

Ако се навијање врши као што показује 35 слика, онда је, за ову жеј спреге навоја у Z, који ћемо овде узети као пример, за  $N''$  навојака потребно  $N''/2 + 1$  место по висини. За висину једног спроводника ( $h''_a$ ) са осамом ( $\sigma''$ ) и међупростором ( $\mu''$ ) има се

$$h''_a + \sigma'' + \mu'' = \frac{h''}{N''/2 + 1}$$



одакле висина голог спроводника:

$$h''_{ca} = \frac{h''}{N''/2 + 1} - \sigma'' - \mu'' \dots \dots \dots (25)$$

Ова се за ширину голог спроводника има

$$b''_a = \frac{S''}{h''_{ca}} \dots \dots \dots (26)$$

35 сл.

Како ширина спроводника испадне на пр. преко 6 мм, мора се спроводник делиити у два или више паралелно стављених делимичних спроводника да би се на тај начин избегао претерано велики губитак снаге услед неједнакости густине струје. Између делимичних спроводника добровољно је ставити танку траку од хартије (на пр. 0,1-0,2 мм).

Узимајући у обзир осаму међу делимичним спроводницима, општу осаму и размак између полуколотова, срачуна се дебљина секундарног навоја  $\alpha$  (гледај 31 слику).

Средња дужина навоја високог напона је (31 сл.):

$$l'' = \pi(\alpha + 2k + \alpha) \dots \dots \dots (27)$$

Укупна дужина спроводника по навоју:

$$\text{при опреси у и } \Delta \dots \dots \dots Z'' = N''l'' + 2l'' \dots \dots \dots (28)$$

$$\text{при опреси Z} \dots \dots \dots l'' = 2N''l'' + 2l'' \dots \dots \dots$$

где  $l$  означава додатак за извод до изолатора, који се, према опени, узима 0,5 - 1,0 м

Омовски отпор загрејаног секундара до извода за номинални напон

$$R''_g = \rho_g \frac{l''}{S''} \dots \dots \dots (29)$$

где је  $\rho_g$  отпорност на 75°С,  $\rho_g = 0,0216 \cdot 10^{-6} \Omega/m/m^2 = 0,0216 \Omega/m/mm^2$

Маса бакра потребног за секундар до извода за номинални напон:

$$m''_{cu} = \mu_{cu} l'' S'' \dots \dots \dots (30)$$

где  $\mu_{cu}$  означава специфичну масу спроводног метала. За бакар је  $\mu_{cu} = 8900 \text{ kg/m}^3$ .

Цуловски губити снаге у секундару срачунава се по ова два обрасца, који служе један другоме за проверу (види 3 обр.):

$$P''_j = \rho R''_j J''^2$$

$$P''_j = 2,42 m''_{cu} \Delta''^2 \text{ где } \Delta \text{ у } A/mm^2 \dots \dots \dots (31)$$

Повећане омовског отпора и влмак цуловског губитка снаге налази се пошто се претходно срачуна Филд-ов (Field) сачиницац:

$$k'' = 1 + \frac{m'' - 0,2}{9} \xi \dots \dots \dots (32)$$

где је  $\xi$  мера својева пресека спроводника чист број без димензија:

$$\xi = b''_{ca} \sqrt{\frac{\pi k''}{\rho} f \frac{\sum(h''_{ca})}{h}} \dots \dots \dots (33)$$

који при  $f = 50 \text{ Hz}$  за  $\rho = 4\pi \cdot 10^{-7} \Omega/m$  и  $\rho = 0,0216 \cdot 10^{-6} \Omega/m/m^2$  постаје:

$$\xi = 95,6 b''_{ca} \sqrt{\frac{\sum(h''_{ca})}{h}} \approx 100 b''_{ca} \sqrt{\frac{\sum(h''_{ca})}{h}} \dots \dots \dots (33')$$

Овде је  $\sum(h''_{ca})$  збир висина свих голих спроводника у једном сноју,  $h$  висина језгра,  $m$  број а  $b''_{ca}$  ширина једног делимичног спроводника (голог) у радијалном правцу.

Ефективни омовски отпор по фази секундара је онда

$$R'' = k'' R''_j \dots \dots \dots (34)$$

Ефективни губитак снаге у бакру секундара при номиналном влтерену:

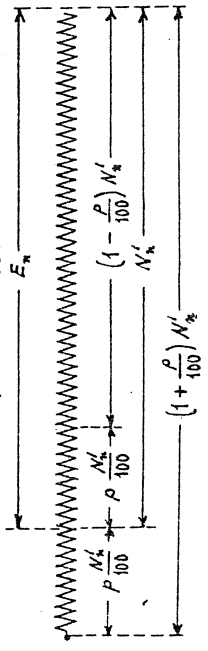
$$P''_{cu} = k'' R''_j J''^2 \dots \dots \dots (35)$$

10. - Прорачуи навоја високог напона. - Број навојака по фази на страни високог напона срачунава се према номиналној вредности овог напона ( $E_k$ ) и прома дефинитивно усвојеној вредности електромоторне силе по навоју,  $S''$ , (Види напомену иза 9 и 9' обрасца):

$$N''_k = \frac{E_k}{S''} \dots \dots \dots (36)$$

На страни високог напона обично се предвиђају изводи за  $\pm 4\%$  или за  $\pm 5\%$  или, уопште за  $\pm \rho\%$  номиналног напона. Број навојака до крајњег извода ( $N''_k$ ) биће исто толико процената већи од номиналног (36 сл.):

$$N''_k = (1 + \frac{\rho}{100}) N''_k \dots \dots \dots (37)$$



36 сл.

Вредност номиналне струје на страни високог напона изводи се из приближне једнакости примарне и секундарне магнетопобудне силе:  $M = M''$ . Према начину спрезања навоја високог напона биће:

$$\text{при опреси у и } \Delta \dots \dots \dots J''_k = \frac{M''_k}{N''_k} J''_k$$

$$\text{при опреси Z} \dots \dots \dots J''_k = \frac{M''_k}{\sqrt{3} N''_k} J''_k \dots \dots \dots (38)$$

Површина пресека спроводника срачунава се из струје и густине струје:

$$S'' = \frac{J''_k}{\Delta} \dots \dots \dots (39)$$

Срачунајте пресек обично нећемо моћи да нађемо међу нормалним спроводницима; уследићемо најближе нормални пресек па ћемо према овом срачунајте стварну гуштину струје ( $\Delta$ ) у навојима високог напона.

Сместај навоја високог напона, као и ниског, захтева велику пажњу. Пошто опште методе нема, ми ћемо на два примера показати пут којим треба ићи.

Пример смештања навоја високог напона на спроводником кружног пресека. - Пошто се изабере растојање навоја од јармова ( $v'$ ) срачуна се укупна навојна висина ( $h''$ ):

$$h'' = h - 2v' \dots \dots \dots (40)$$

Према вредности простог напона (по фази) примера ( $E'$ ) биромо број колутова  $n_k$  тако да по нормалном колути не дође више од 500-1000 у ивајми на уму да улазе колутови, са појачаном осамом, као и они за изводе морају бити засебни колутови. Ако је потребно оставити међупросторе између колутова ( $M$ ), број ових биће  $n_k - 1$ . Рачунајући на основу осаму колутове  $\sigma_k$ , остаје за чисту навојну висину ( $h_c$ ):

$$h_c = h'' - (n_k - 1)M - n_k \sigma_k \dots \dots \dots (41)$$

Број места за спроводник у једном слоју свих колутова добија се кад се ова чиста висина подели са пречником осамљеног спроводника:

$$\text{Број места у слоју} = \frac{h_c}{n_k \sigma_k} \dots \dots \dots (42)$$

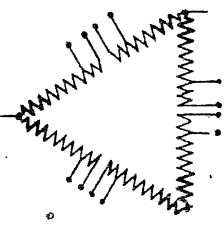
Од тог броја места може се искористити

$$\frac{N_c - n_k \text{ односно } N_c - 2n_k \dots \dots \dots (43)$$

јер се у сваком колути  $n_k$  по једном месту на прелазу из слоја у слој. - Кад са овим бројем поделимо укупни број навоја који се има до крајњег извотка ( $N''$ ), добијемо број слојева

$$\text{Број слојева} = \frac{N''}{N_c - n_k} \dots \dots \dots (44)$$

Бад треба укупни број навојака  $N''$  распоредити у нормалне колутове, улазе колутове са појачаном осамом и колутове за изводе. При том се у улазним колутовима усваја мањи број слојева но у нормалним да би било места за појачану осаму а да при том ширина улазних колутова остаје једнака са ширином нормалних. Колутови са појачаном осамом стављају се на оба краја навоја (37.сл.). Колутови за изводе налазе се у средним навоја.



По извршеној раслојени навојака у колутове срачунају се ширине и висине ( $b_k$  и  $h_k$ ) ових врста колутова и провери колики међупростор ( $M$ ) стварно остаје између њих и колика су стварна растојања од јармова ( $v'$ ).

37 сл.

Пример смештања навоја високог напона на спроводником правоуглог пресека. - Кад је пресек спроводника за навој високог напона знатан (на пр. изнад 4 или 6  $cm^2$ ) усваја се правоугли пресек са којим се постиже боља општина на округлима. У том случају нарочито су повољни двооструки општинани колутови према 2В слици. - Поступак је овакав: пође се од спроводника ширине  $b_c$  и висине  $h_c$  таквог да пресек његов што је могуће боље одговара усвојеној густини струје. Пошто се усвоји потребно повећање услед осаме ( $\sigma'$ ), имају се дикенон је осамљен спроводника  $b_{c\sigma} = b_c + \sigma'$  и  $h_{c\sigma} = h_c + \sigma'$ . Између полуколутова долази прагратни протен дебљине  $\rho' = 1-2$   $mm$  те се, предвиђајући општу осаму колута ( $\sigma_k$ ) за висину његову има

$$h_k = 2(h'_{c\sigma} + \sigma') + \rho' + \sigma_k \dots \dots \dots (45)$$

Пошто се усвоји раслојење од јармова ( $v'$ ), срачуна се укупна навојна висина  $h'' = h - 2v'$ . Ако се са  $M'$  означа међупростор између колутова а са  $X$  број ових, има се ова проста једначина:

$$X h_k + (X - 1) M' = h'' \dots \dots \dots (46)$$

$$X = \frac{h'' + M'}{h_k + M'} \dots \dots \dots$$

За број колутова усвоји се заокружени резултат, тј. узме се цео број па се број слојева у колутовима срачуна дељењем укупног броја навојака ( $N''$ ) са двооструким бројем колутова тј. са бројем полуколутова:

$$\text{Број слојева} = \frac{N''}{2X} \dots \dots \dots (47)$$

Бад се тражи најпогоднији распоред навојака међу колутовима, нормалним, онима са појачаном осамом и онима за изводе и срачунају се висине ( $h_k$ ) и ширине ових ( $b_k$ ). Ширине треба да буду све једнаке, што се постиже уметањем трака подесне дебљине између навојака колутова са појачаном осамом. Најзад се утврде стварне вредности међупростора ( $M'$ ) и растојања од јармова ( $v'$ ).

Прорачун навоја високог напона наставља се сада према овим овим видним обрацима:

$$\text{Средња дужина навојака високог напона:} \quad \pi(d + 2k + 2a + 2\varepsilon + \delta) \dots \dots \dots (48)$$

Укупна дужина спроводника једне фазе до извода који одговара нормалном напону:  $l = N_k \pi + i' \dots \dots \dots (49)$

где  $l'$  означава додаток потребан за извод до изолатора.

$$\text{Оновски отпор по фази загрејаног навоја} \quad R'_f = \rho \frac{l'}{S} \dots \dots \dots (50)$$

Маса бакра потребног за све фазе навоја високог напона до извода за номинални напон:  $m'_c = k_{cu} \rho l' S' \dots \dots \dots (51)$

Цулловски губитак снаге при номиналном оптерећењу  $P'_j = q R'_f J_k^2 \dots \dots \dots (52)$

или  $P'_j = 2,42 m'_{cu} \Delta^2$  где  $\Delta$  у  $A/mm^2$

Филцов сачинилац биће често незнатан због велике издељености навоја високог напона:  $k'_f = 1 + \frac{m^2 - 0,2 \xi^4}{9} \dots \dots \dots (53)$

где је  $\xi$  'сведена' дебљина спроводника у радијалном правцу а  $m$  број ниског:  $\xi = 95,6 b'_c \sqrt{\frac{\sum(h_{c\sigma})}{h}} \approx 100 b'_c \sqrt{\frac{\sum(h_{c\sigma})}{h}} \dots \dots \dots (54)$

Ефективни оновски отпор по фази  $R' = k'_f R'_f \dots \dots \dots (55)$

Ефективни губитак снаге у спроводницима високог напона при номиналном оптерећењу:  $P'_{cu} = k'_f P'_j \dots \dots \dots (56)$

Укупни губитак снаге у навојима ниског и високог напона заједно при номиналном оптерећењу:  $P_{cu} = P'_{cu} + P_{cu} \dots \dots \dots (57)$

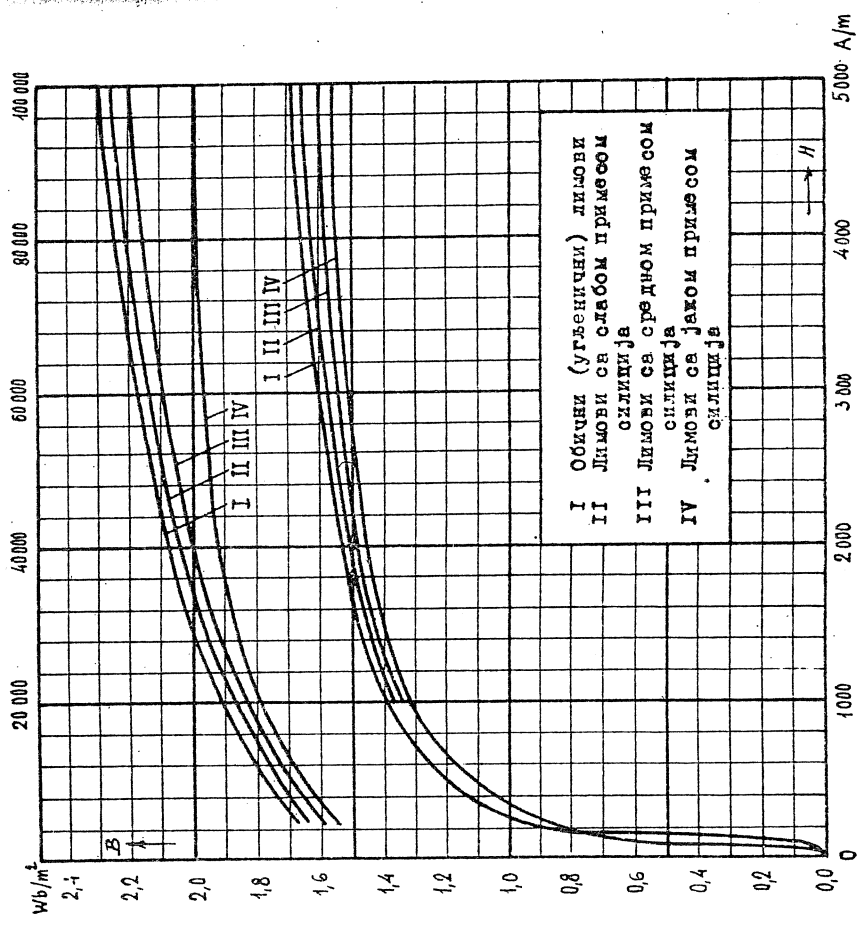
Укупни губитак срачунај на овај начин треба да буде испод оне вредности коју смо себи наметнули у почетку прорачуна.

11. - Срачунавање струје празнога хода. - Врх от струје празно-  
га хода изводи се из вредности заједничке магнетопобудне силе ( $M_m$ ),  
која је - као што је познато - једнака са магнетопобудном силом при-  
мара при празном ходу ( $M_m = M'_m$ ). Заједничку величину добијамо ако срачунамо  
збир падова магнетног напона у језгру, у јарку и на саставцима, који  
настају при врхунској вредности магнетног утљива. - Јачина утљива у  
језгру ( $B_m$ ) одређена је напред. Ако је површина пресека јармова иста,  
онда се и у овима има иста вредност; ако смо увојили јарам већег пре-  
сека ( $S'_j > S_j$ ) за јачину утљива у јарку имамо:

$$B'_m = B_m \frac{S_j}{S'_j} \quad (58)$$

На саставцима језгра и јармова узима се јачина утљива има исту  
вредност као у језграма ( $B_m$ ).

Служећи се карактеристикама магнетноћа ( $B$  сл.), налазимо за сва-  
ку од ових вредности ( $B_m, B'_m$ ) вредност јединичне магнетопобудне силе  
( $H, H'$ ) која јој одговара.



38 сл. Карактеристике магнетноћа лимова  $B = f(H)$

Затим одређујемо дужине цени магнетног утљива у језгру ( $Z$ ) и у  
јарку ( $Z_j$ ).

У профазних т сформатора се три језгра у истој равни (22  
сл. α) узима се:

$$Z = h, \quad Z' = g + 2a \quad (59)$$

Дужине цени у јарку није иста за средње и за спољна језгра; 59 обра-  
зап да је средњу вредност те дужине.

У једнофазних трансформатора са два језгра од којих свако носи  
по половинку навоја има се (22 сл. α):

$$Z = 2h, \quad Z' = 2f \quad (60)$$

У оклопљених трансформатора, једнофазних и трофазних (22 сл. β):

$$Z = h, \quad Z' = f + l \quad (61)$$

Дужина међузбоје је у трансформатора обично мала. Код великих  
трансформатора у којих су језгра и јармови засебно намотага лимова до-  
дуже површине ових обрађују се и замењу или оставља лист преспана; ме-  
ђузбоје је онда једнако дебљини тог пресана. У малих трансформато-  
ра изабегав се међузбоје наквмениним преклатачем лимова. У овом слу-  
чају рачуна се да сваком таквом саставку одговара међузбоје од 0,05<sup>мм</sup>.  
Ако се са  $\Sigma(\delta)$  ознаки збир међузбоја онда се за врхунчну вредност  
магнетопобудне силе по фази има

$$M_m = Hh + H'l + \frac{B_m}{\mu_0} \Sigma(\delta)$$

$$M_m = Hh + H'l + 80000 B_m \Sigma(\delta) \quad (62)$$

Ефективна вредност реактивне компоненте струје празнога хода може се  
добити ако је познат вршни сачинилац (%); са стране високог напона:

$$J'_4 = \frac{M_m}{N_1 K_m} \quad (63)$$

а са стране ниског напона

$$J''_4 = \frac{M_m}{N_2 K_m} \quad (64)$$

$$J''_4 = \frac{M_m}{(N_2 \sqrt{3}) K_m} \quad (65)$$

Активна компонента струје празнога хода ( $J_{p0}$ ) срачунава се из губи-  
тка у железу ( $P_F$ ) и губитка у баку при празном ходу. Овај последњи де-  
бља се приближно множећи отпор навоје са квадратом реактивне компонен-  
те струје празнога хода. Претка која се тако чини незнатна је јер се  
реактивна компонента мало разликује од стварне струје празнога хода.  
Тако се за активну компоненту има

$$J'_{p0} = \frac{P_F + qR'J_{p0}^2}{qE}, \quad J''_{p0} = \frac{P_F + qR''J_{p0}^2}{qE} \quad (65)$$

За стварну струју празнога хода има се

$$J_0 = \sqrt{J_{p0}^2 + J''_{p0}^2} \quad (66)$$

Највад срачуна се релативна струја празнога хода као однос ствар-  
не струје празнога хода према номиналној:

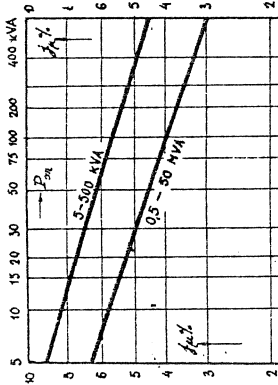
$$j = \frac{J_0}{J_n} \quad (67)$$

На 39 слици је дијаграм  
који ће нам служити као обавештење колике су средње вредности релатив-  
не струје празнога хода ( $j$ ) у зависности од снаге трофазних транс-  
форматора са нормалним односом губитака у железу и у баку при номи-  
налном оптерећењу ( $\delta = \frac{P_F}{P_{Cu}}$ ).

\* \* \*

Познато је да су струје празнога хода наједнаке у навојима поје-  
дних фаза трофазних трансформатора са три језгра у истој равни; мека  
је у навоју око средњег, већа у навојима око два крајња језгра. То до-





39. сл. - Релативна струја магнетноћа у зависности од снаге трансформатора,  $\epsilon_r = \epsilon/P_n$

Лазик отуда што магнетни у-  
плив што избија из средњег  
језгра има да пређе кроз  
јармове крајни пут а углив  
крајњих језгра дужи.

Ми смо напред показа-  
ли како се срачунава про-  
сечна вредност тих неједнаких струја празнога хода. Међутим, могу се  
те струје срачунати овака посебно. У том случају узима се (40 сл.) да  
се чвор или неутрална тачка магнетних углива трију фаза налази у  
средини горњег, односно доњег јарма. Друга дужина цев магнетног у-  
глива појединих фаза састоји се онда из дужине кроз језгро ( $h$ ), ко-  
ја је иста за све три фазе, и дужине кроз јарам која, ако се са  $a$  о-  
значи ширине јарма, износи:

за средњу фазу ....  $l'_c = a'$   
за крајње фазе ....  $l'_c = 2a + 3a'$

По 62 образцу срачунају се према томе магнетопобудне силе посеб-  
но за средњу и за крајње фазе ( $M_{m'}$ ,  $M_{m''}$ ) а по 63, односно 64 образцу  
одговарајуће реактивне компоненте струје празнога хода.

И активне компоненте струје празнога хода биле изједнаке у сред-  
ној и у крајњим фазама јер су масе лимова на и губитци у железу на јед-  
накви. Маса лимова срачунају се према дужинама цев магнетног углива у  
језгру ( $h$ ) и у јарму ( $l_c$  односно  $l'_c$ ) на се за средњу и за крајње фа-  
зе посебно срачунају губитци у железу ( $P_{2c}$ ,  $P_{2c'}$ ) и онда према овима  
активне компоненте струје празнога хода по 65 образцу. Најзад се, та-  
кође посебно, срачунају и стварне струје празнога хода по 66 образцу.

12. - Срачунавање података за Капов дијаграм. - За Капов дијаграм  
или за образце који се из њега изводе у сврху проучавања промене напо-  
на трансформатора потребно је срачунати релативне еквивалентне падове  
напона, омовоки ( $\epsilon_r$ ) и индуктивни ( $\epsilon_l$ ), из којих се даље изводи релатив-  
тивни напон мртвога споја ( $\epsilon_s$ ).

Као што је познато, релативни еквивалентни пад напона добија се  
као однос укупних губитака омаге у окрву примара и секундера према но-  
миналној снази:

$$\epsilon_r = \frac{P_{2ca}}{P} \dots \dots \dots (58)$$

Вредност за  $P_{2ca}$  срачунава се према 57 образцу и обухвата и вишак губи-  
така услед неједнакости густине струје.

Релативни еквивалентни индуктивни пад напона ( $\epsilon_l$ ) добија се из  
еквивалентног индуктивног отпора ( $X_l$ ); овај последњи срачунава се по  
једном од две датих израза за чију примену се претходно одреди  
средња висина навоја:

$$h_m = \frac{1}{2} (h'_m + h''_m) \dots \dots \dots (59)$$

и обим круга који пролази кроз средњу међупростору ( $\epsilon$ ) између при-  
мара и секундера ва који се има

$$P = \pi(a + 2k + 2a + l) \dots \dots \dots (70)$$

Еквивалентни индуктивни отпор секундера или примара добија се  
по истом образцу с том разликом што се у израз за уноси број навоја  
посматраог навоја; зато у довим изразама није стављено  $N'$  и  $N''$ ,  
него само  $N$ .

За обични цевни намот спрегнут у звезду или у троугао има се, са  
ознакама датим на 41 слици:

$$X_l = 7,9 \cdot 10^{-6} f N^2 \frac{\pi}{h_m} (\epsilon + \frac{a+b}{3}) \dots \dots \dots (71)$$

За обични цевни намот спрегнут у сломљену звезду ( $Z$ ), са  $N/2$  на-  
војака по полунавоју (41 сл.), међупростор између полунавоја није  
напона;  $X_l = 7,9 \cdot 10^{-6} f (N/2)^2 \frac{\pi}{h_m} (\epsilon + \frac{a}{3} + \frac{a+b}{3}) \dots \dots \dots (72)$

За цевни намот у кога је навој нижег напона подељен у два дела  
од којих је један у унутарности навоја вишег напона а други споља,  
око овога (42 сл.):

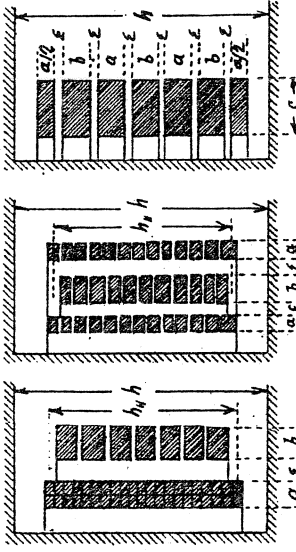
$$X_l = 3,95 \cdot 10^{-6} f N^2 \frac{\pi}{h_m} (\epsilon + \frac{a+b}{6}) \dots \dots \dots (73)$$

За колутни намот са  $n$  колотова високог и исто толико колотова  
ниског напона од којих је један подељен у два дела и они стављени на  
крајеве (43 сл.):

$$X_l = 3,95 \cdot 10^{-6} f N^2 \frac{\pi}{nc} (\epsilon + \frac{a+b}{6}) \dots \dots \dots (74)$$

где  $c$  означава радијалну дебљину колотова а  $\pi$  средњу дужину навојака.

Напоменимо да  
образци 71-74 дају  
горњу границу вред-  
ности за  $X_l$ ; може се  
добити приближна  
вредност множењем  
резултата добљеног  
по овим образцима  
једним оцикиопом  
поправке који се те-  
које срачунава према  
димензијама навоја и  
који је увек нешто  
мањи од јединице. О-  
брасци оцикиопа по-  
правке за разне вр-  
сте намота налазе  
се у одежку Magnet-  
на расписана.



41 сл. 42 сл. 43 сл.

Када се према горњим образцима срачунају еквивалентни индуктивни  
отпори примара ( $X_l'$ ), односно секундера ( $X_l''$ ), може се, како за један  
тако и за други навој наћи индуктивни пад напона при номиналном оп-  
терећењу:

$$E'_l = X_l' J'_l, \quad E''_l = X_l'' J''_l \dots \dots \dots (75)$$

и његова релативна вредност:

$$\epsilon_l = \frac{E'_l}{E'_0}, \quad \epsilon_l = \frac{E''_l}{E''_0} \dots \dots \dots (76)$$

Ове две вредности треба да буду једнаке и служе једне другој за про-  
веру.