

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЛАДИМИР В. ПЕТРОВИЋ

УПУТ У ПРОРАЧУН ТРАНСФОРМАТОРА

Научна Књига

БЕОГРАД, 1959

1. - Какав је задатак пројекције. - Даје се корисна секундарна привидна снага (P_2'), уостанок (f), број фаза (q) спрега намота примара и секундара, примарни напон (здружени U_1 или прости U_1). Поред тога често се намеће горња граница губитака у железу (P_{Fe}) и, према оврси којој је трансформатор намењен, још и однос ових губитака према губитцима у баку при номиналном оптерећењу ($\gamma = P_{Fe}/P_{Cu}$). Најлак намеће се вредност преоптерећењивости (β), тј. тражи се да трансформатор буде способан издржати стално преоптерећење β пута веће од номиналнога а да при том загревање његових навоја не пређе допустене границе.

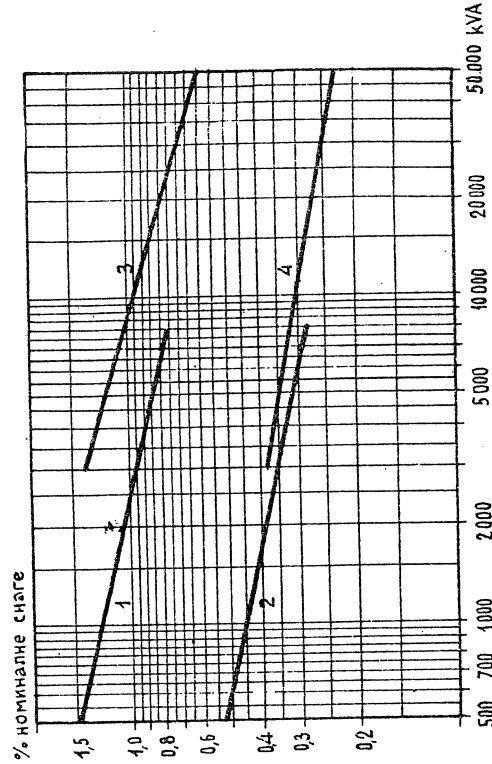
Тражи се да се одреде димензије трансформатора тако да одлике његове не изостају иза ових које имају добро сасрађени трансформатори исте врсте. У секундарни напон при празном ходу (здружени U_2 или прости U_2').

2. - Одлике добро сасрађених трансформатора. - Главне одлике трансформатора су: губитак у железу (P_{Fe}), губитак у баку при номиналном оптерећењу (P_{Cu}) и реални напон кратког споја (E_s). Од односа губитака $\gamma = P_{Fe}/P_{Cu}$ зависи при ком ће се оптерећењу имати најбољи степен искористења (η); од реалног напона кратког споја зависи колика ће бити највећа могућна промена напона између празнога хода и пуног оптерећења. Вредности којима се изрававају те одлике узимају се према трансформаторима који се при номиналном оптерећењу и при предвиђеном преоптерећењу не загревају више него што је прописима допустено. Приближну претставу о тим вредностима за нормалне трансформаторе дају нам дијаграми на 1, 2, 3 и 4 слици.

На 1 слици је дијаграм губитака код малих трансформатора од 50 до 5000 VA. - Права (1) даје губитак у баку при номиналном оптерећењу и важи за једнофазне ($q = 1$) и трофазне трансформаторе ($q = 3$). - Права (2) даје губитак у гвозђу (P_{Fe}) код трофазних трансформатора а права (3) који губитак код једнофазних.

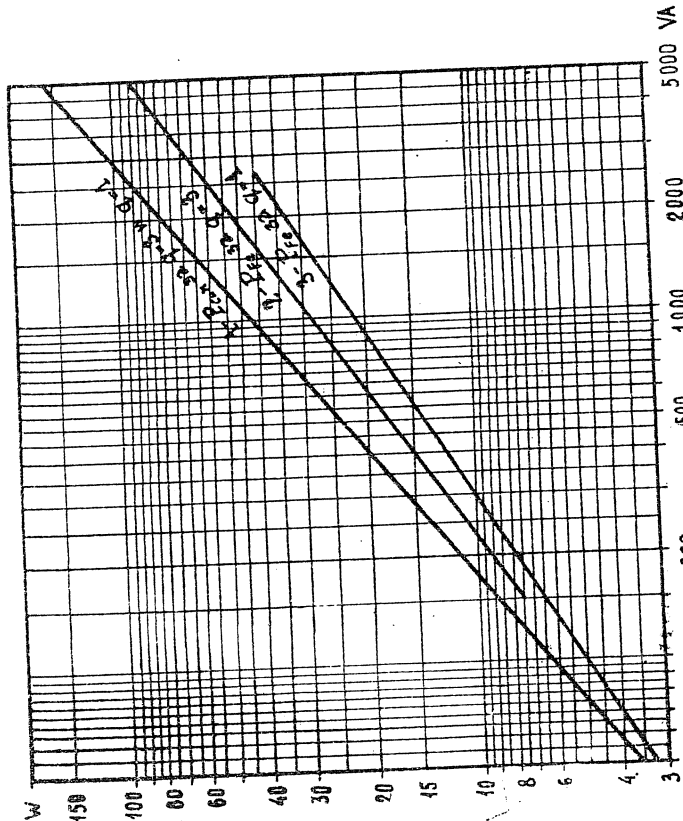
На 2 слици је дијаграм губитака код трофазних трансформатора средњих снага, од 5 до 500 kVA. Ту су губитци изражени у стотим деловима номиналне снаге. - Крива означена са (1) даје губитке у баку при спреси звезда-звезда (Y/Y). При спреси звезда-крострука звезда (Y/Δ) треба прочитати губитак повећати за одређени проценат (7,75%). - Криве означене са 2, 3 и 4 дају губитак у гвозђу, који - као што се види - зависи од напона: при истим напонима мора се задовољити са већим губитком у гвозђу. Све криве од 1 до 4 односе се на нормалне трансформаторе са природним струјама U_{20} .

На 3 слици је дијаграм процентних губитака код великих и врло великих трансформатора од 500 до 50000 kVA. - Права означена са 1 даје процентни губитак у баку (P_{Cu}), права 2 процентни губитак у гвозђу (P_{Fe}) код трофазних трансформатора са природним струјама U_{20} . Права 3 и права 4 дају те губитке код трофазних трансформатора са принудним струјама U_{20} и спољним хлађењем овога помоћу воде. Види се да принудно струјама U_{20} допунста да се, код трансформатора дате снаге, усвоје већи губитци у баку (око 40% већи) и у гвозђу (око 10% већи) него што је могуће при природном струјама U_{20} .

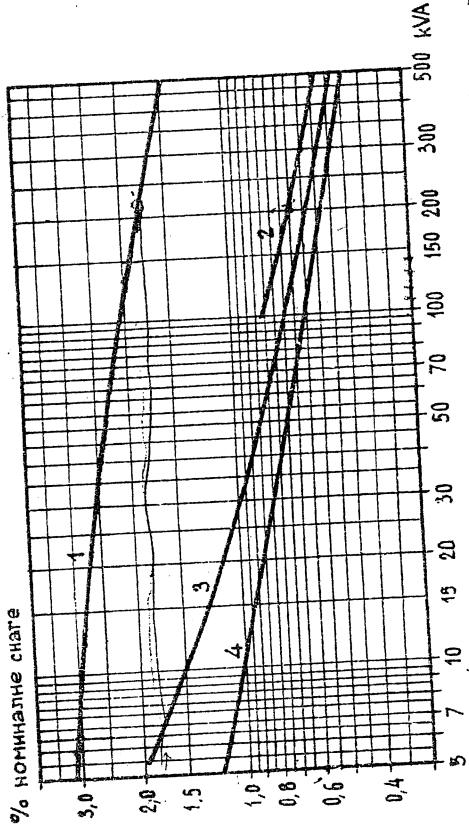


3 сл. - Губитци (%) код трофазних трансформатора
 1 - Губитци у баку } код трансформатора са природним струјањем уља
 2 - Губитци у гвожђу }
 3 - Губитци у баку } код трансформатора са принудним струјањем уља и спољашњим хлађењем водом
 4 - Губитци у гвожђу }

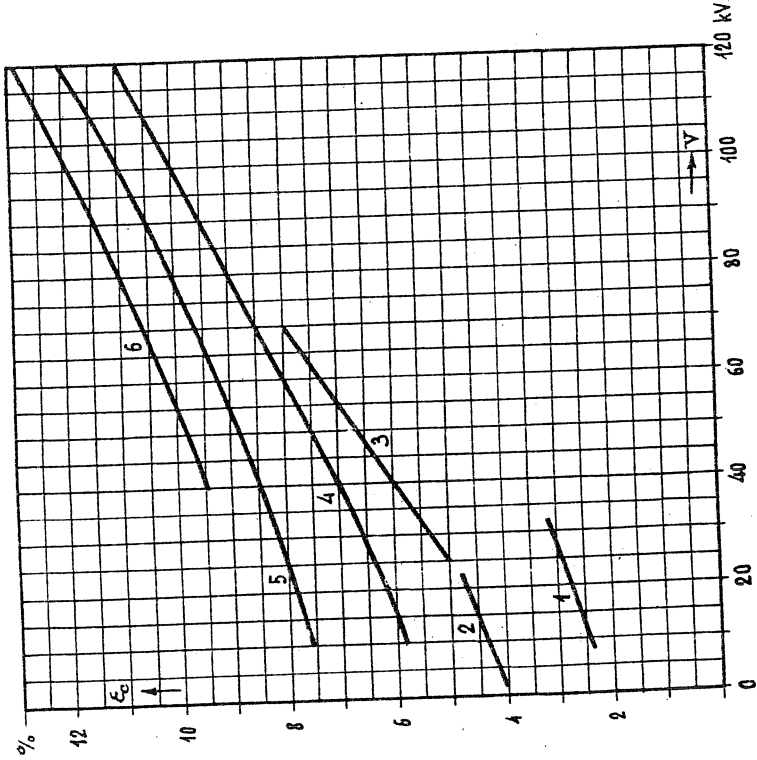
На 4 слици је дијаграм средњих вредности релативног напона кратког споја, изражених у стоти деловима номиналног напона ($\xi = 100 \cdot U_c/U_n$). Напон кратког споја зависи, као што се види, од вредности високог напона трансформатора (апсиса) и расте са њим. Он расте са снагом трансформатора и зависи још од начина хлађења и од прсте навоја. Крива означена са 1 показује колики је напон кратког споја код трансформатора од 5000 kVA са колутним навојима. Криве 2 до 5 односе се на трансформатере са цевним навојима. Прве три односе се на цевне навоје при хлађењу природним струјањем уља и то: крива 2 на трансформатор од 5 kVA, крива 3 на трансформатор од 500kVA, крива 4 на трансформатор од 5000 kVA. Криве 5 и 6 односе се на трансформатере са цевним навојима хлађењем принудним струјањем уља и спољним хлађењем овога водом и то: крива 5 на трансформатор од 5000 kVA, крива 6 на трансформатор од 10000 kVA и више.



1 сл. - Губитци у малим трансформаторима
 1 - Губитци у баку код једнофазних и трофазних
 2 - Губитци у гвожђу код трофазних
 3 - Губитци у гвожђу код једнофазних



2 сл. - Губитци (у %) код трофазних трансформатора
 1 - Губитци у баку при спреси уу
 2 - Губитци у гвожђу за $U/U_n = 22000/3150$ V
 3 - Губитци у гвожђу за $U/U_n = 20000/380$ V
 4 - Губитци у гвожђу за $U/U_n = 6000/230$ V



4 сл. - Напон краткога споја у стојим деловима номиналног напона ($\epsilon_s = 100 \cdot U_c / U_n$) у зависности од вредности високог напона трансформатора

Колутим навоји: 1 - за $P_n = 5000$ kVA
 2 - за $P_n = 5$ kVA
 3 - за $P_n = 500$ kVA
 4 - за $P_n = 5000$ kVA
 5 - за $P_n = 5000$ kVA
 6 - за $P_n = 10000$ kVA

Цевни навоји: природно струјање
 принудно струјање
 узга са спољњим хлађењем водом

3. - Одређивање пресека језгре трансформатора. - Најпре се одреди површина чистога гвозденог пресека језгра (S_n) по обраду:

$$S_n = C \sqrt{\frac{P_2}{f \Delta B_m} \delta \frac{I_m}{I_n}} \dots \dots \dots (1)$$

(*) Изношење овог обрасца. - Нека су E' и J' електромоторна сила и струја по навоју примара; унутарња правидна снага примара са q флава биле онла:

$$P_0 = q' E' J'$$

$$\text{Заменимо: } E' = 4,44 f N' B_m S_n \text{ и } J' = \Delta S_n' \text{ па ћемо имати:}$$

$$P_0 = q' 4,44 f B_m S_n \Delta N' S_n'$$

У образац би требало унети праву вредност унутарње снаге која се може срачунати из дате номиналне секундарне снаге (P_n') и приближне вредности губитака у железу (P_{Fe}) и у бакру (P_{Cu}), узетих према дијаграмима на 1., 2. и 3. слици: $P_2 = P_n' + P_{Fe} + \frac{1}{2} P_{Cu}$. Међутим како су губитци снаге обично мали, узима се и према прописима - изузетно у трансформатора - унутарња правидна снага сматра се номиналном:

$$P_2 = P_n' = q E' J_n' = q U_n' J_n' \dots \dots \dots (2)$$

Велико је искуство потребно да се изабере најповољније вредности јачине магнетног ушлица (B_m) у језгрима и густине струје (Δ) у навојима. Као први основни могу послужити дијаграми дати на 5 и 6 слици (Јившиц, III). - Јачина (врхуначне) магнетног ушлица (B_m) у језгрима нормалних трансформатора врелне се од $1,1$ Wb/m² (за 5 kVA) до $1,4$ Wb/m² (за 500 kVA) и код великих трансформатора не прелази ову последњу вредност. - Густина струје у навојима (Δ) код трансформатора са природним хлађењем расте са снагом, достиже максимум од $3,2$ A/mm² (за 5000 kVA), затим се узима мања (6 сл., крива а) да би се постигао бољи степен искоришћења. Код великих трансформатора са принудним хлађењем (6 сл., крива б) усваја се већа густина струје но код оних са природним; но вредност иена онада са снагом из истих разлога као горе.

Према изабраним вредностима за B_m и Δ орачунавају се затим вредности специфичних губитака у бакру при номиналном оптерећењу (I_n') и у железу (I_n') по овим обрацима:

$$\text{Сначујући са } \Pi \text{ средњу дужину навојана примара и секундера, можемо масу бакра овако изразити:}$$

$$m_{Cu} = m_{Cu}' + m_{Cu}'' = 2 m_{Cu}' = 2 q \mu_{Cu} N' I_n' S_n'$$

$$\text{одакле: } N' S_n' = \frac{m_{Cu}}{2 q \mu_{Cu} \Pi}$$

Заменом ове вредности у изразу снаге има се:

$$P_2 = q' 4,44 f \Delta B_m S_n' \frac{m_{Cu}}{2 q \mu_{Cu} \Pi} = 4,44 f B_m S_n' \frac{m_{Cu}}{2 \mu_{Cu} \Pi} \Delta$$

О друге стране, означајући са I_n' укупну дужину свих језгара и јармона, може се маса железа овако изразити:

$$m_{Fe} = \mu_{Fe} S_n' l_n'$$

$$P_2 m_{Fe} = 4,44 f \Delta B_m S_n' \frac{m_{Cu}}{2 \mu_{Cu} \Pi} \mu_{Fe} l_n'$$

Кад се две последње једначине узајамно помноже, има се:

$$S_n'^2 = \frac{2 \mu_{Cu}}{4,44 \mu_{Fe}} \frac{\Pi}{l_n'} \frac{P_2}{f \Delta B_m} \frac{m_{Cu}}{m_{Fe}}$$

$$\delta = \frac{P_{Fe}}{P_{Cu}} = \frac{m_{Fe} I_n'}{m_{Cu} I_n'}$$

има се $\frac{m_{Fe}}{m_{Cu}} = \delta \frac{I_n'}{I_n'}$

Из односа

$$S_n' = \sqrt{\frac{2 \mu_{Cu}}{4,44 \mu_{Fe}} \frac{\Pi}{f \Delta B_m} \frac{I_n'}{I_n'}} \dots \dots \dots (1)$$

те је:

$$C = \sqrt{\frac{2 \mu_{Cu}}{4,44 \mu_{Fe}} \frac{\Pi}{f \Delta B_m} \frac{I_n'}{I_n'}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 900}{4,44 \cdot 7 \cdot 600} \frac{\Pi}{l_n'}} = 0,726 \sqrt{\frac{\Pi}{l_n'}}$$

где је: