

Hálózati transzformátorok méretezése EMG 666 asztali kalkulátoron

ETO 621.314.21.001.2:681.32 EMG

Intézetünk Akusztika és Alkatrészek Osztálya kutatási és oktatási munkájának egy része a passzív áramkörü elemek, elsősorban a különféle mágneses eszközök tervezési algoritmusainak kidolgozása és az ezek alapján történő számítógépes tervezés. Az alábbiakban híradástechnikai hálózati transzformátorok EMG 666 asztali számítógépen való méretezését kívánjuk bemutatni. A méretezési módszert és a kézi számításokhoz szükséges diagramokat — El vasmagtípusokra — az [1] irodalomban közöltük.

Jelen cikk e módszernek programozható kalkulátorra készített változatát tárgyalja. Először ismertetjük a méretezéshez szükséges alapösszefüggéseket, majd a folyamatábrán végigkövetjük a program működését végül néhány számítási példát mutatunk be.

A méretezési eljárás

A méretezés kiindulásául a specifikációs adatok, valamint a szabványos vasmagtípusok és huzalok választéka szolgál. A specifikációs adatok:

- U_{pr} a primer feszültség,
- U_{szj}, I_{szj} az ohmos terhelésű tekercsek effektív feszültsége és árama,
- U_{ok}, I_{ok} az egyenirányítók kimeneti feszültsége és árama,
- T_{fr} a transzformátor maximális hőmérséklete,
- T_k a maximális környezeti hőmérséklet,
- η a hatásfok.

Ezekon túlmenően ismernünk kell az alkalmazandó vasanyag maximális megengedett indukcióját (B_M) és veszteségi számát (V_1).

A méretezési eljárás tetszőleges alakú, szabványosított vasmagokra alkalmas.

A transzformátor veszteségi teljesítménye (P_d) és melegedése (ΔT) felírható a fenti mennyiségekkel és a vasmag geometriai adataival [1]:

$$P_d = \gamma V_m V_1 B_1^2 + \frac{2A_{tr}}{\omega^2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}} \right)^2}{B_1^2},$$

$$\Delta T = T_{fr} - T_k = \frac{P_d}{k_T} = \gamma \frac{V_m V_1}{k_T} \cdot B_1^2 + \frac{2A_{tr}}{k_T \omega^2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}} \right)^2}{B_1^2}, \quad (1)$$

ahöl

- γ a vasanyag sűrűsége $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$,
- V_m a vasmag térfogata $[\text{m}^3]$,
- V_1 a vasmag veszteségi száma 1T amplitúdójú indukciónál $\left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$,
- B_1 a vasmagban fellépő szinuszos indukció amplitúdója [T],
- A_{tr} a transzformátor állandó, $\left[\frac{\Omega}{\text{m}^4} \right]$,
- ω a hálózati frekvencia [rad/s],
- $U_{i\text{eff}}$ a transzformátor i -edik tekercsén (beleértve a primert is) levő feszültség effektív értéke [V],
- $I_{i\text{eff}}$ a transzformátor i -edik tekercsén átfolyó áram effektív értéke [A],
- k_T a transzformátor hőátadási tényezője $\left[\frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \right]$,
- N a tekercsek száma.

Az (1) összefüggésekből látható, hogy a transzformátorok veszteségi teljesítménye, ill. melegedése a geometriai méreteken túlmenően függ a tekercsek áramaitól és feszültségeitől, a vasmagban fellépő indukciótól és a vasanyag veszteségi számától is.

Az összefüggések $\sqrt{V_1} \cdot \sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}$ mennyiséggel való osztása után olyan alakot öltenek, amelyben a vasmagmérettől függő mennyiségek mellett egy összetett változó, illetve annak reciproka szerepel:

$$\left. \begin{aligned} \frac{2P_d}{\sqrt{V_1} \cdot \sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}} &= \gamma V_m \cdot \frac{2\sqrt{V_1} B_1^2}{\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}} + \\ &+ \frac{8A_{tr}}{\omega^2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}}{2\sqrt{V_1} B_1^2}, \\ \frac{2\Delta T}{\sqrt{V_1} \cdot \sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}} &= \gamma \frac{V_m}{k_T} \cdot \frac{2\sqrt{V_1} B_1^2}{\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}} + \\ &+ \frac{8A_{tr}}{k_T \omega^2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}}{2\sqrt{V_1} B_1^2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Egyszerűsíthető jelölések bevezetésével a két összefüggés a következőképpen írható:

$$\left. \begin{aligned} Y &= \frac{A}{X} + C \cdot X \\ Y' &= \frac{A'}{X} + C' \cdot X \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ahol A, A' és C, C' mérettől, vasanyagtól függő állandókat és a hálózati frekvenciát, az X független változó pedig a specifikációs adatokat tartalmazza:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}}}{2\sqrt{V_1 B_1^2}},$$

$$A = \gamma V_m; \quad A' = \frac{A}{k_T},$$

$$C = \frac{8A_{tr}}{\omega^2}; \quad C' = \frac{C}{k_T}.$$

A (3) függvények a vasmagméretekkel paraméterezhető görbesereget alkotnak. Az 1. ábrán ezeket példaképpen TM magokra adtuk meg.

A specifikációs adatok megszabják X minimális és Y , illetve Y' maximális értékeit. Ezeket a korlátokat a 3. ábrán X_m, Y_M és Y'_M -vel jelöltük. A specifikációt kielégítő vasmagok görbéi az egyenesek által kijelölt jobb alsó térnegyedben találhatóak. Ezek közül célszerűen a legkisebb vasmagmérethez tartozót választjuk.

A függőleges és vízszintes korlátok számítása a 2. ábra alapján követhető:

$$P_d = \frac{\sum_{j=1}^n P_{szj} + \sum_{k=1}^m P_{ek}}{\eta} (1 - \eta), \quad \text{ahol}$$

P_{szj} a j -edik ohmos terhelésű tekercs által leadott teljesítmény,
 $P_{ek} = k_{pk} U_{0k} I_{0k}$, a k -edik egyenirányító által felvett váltóteljesítmény,
 k_{pk} a k -edik egyenirányító teljesítményállandója,
 U_{0k}, I_{0k} a k -edik egyenirányító által szolgáltatott feszültség és áram.

$$\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}} = U_{\text{preff}} I_{\text{preff}} + \sum_{j=1}^n P_{szj} + \sum_{k=1}^m k_{Uk} U_{0k} k_{Ik} I_{0k}, \quad (4)$$

ahol

n, m az ohmos, illetve egyenirányítós terhelésű tekercsek száma ($n + m + i = N$),

k_{Uk}, k_{Ik} a k -edik egyenirányító (típusától függő) áram- és feszültségállandója.

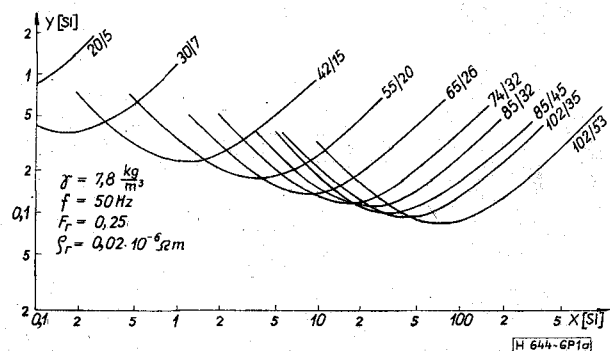
Az egyenirányítós tekercsek adatainak effektív értékeit az előírt egyenfeszültség- és áramértékekből az állandók segítségével számítjuk ki:

$$U_{ek} = k_{Uk} \cdot U_{0k}; \quad I_{ek} = k_{Ik} \cdot I_{0k}.$$

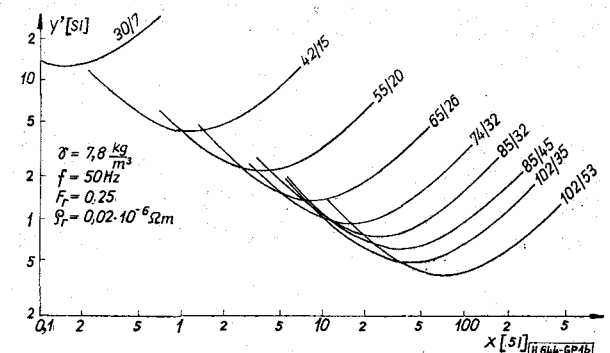
$$I_{\text{preff}} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n I_{szj} \frac{U_{szj}}{U_{pr}}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m I_{ek} \frac{U_{ek}}{U_{pr}}\right)^2 + 2 \sum_{j=1}^n I_{szj} \frac{U_{szj}}{U_{pr}} \sum_{k=1}^m k_{pk} I_{0k} \frac{U_{0k}}{U_{pr}}}. \quad (5)$$

Az így kiszámított érték a valóságos értéknél kisebb, mivel a veszteségeket nem vettük figyelembe. Az eddigi adatok birtokában meghatározhatjuk a még éppen megfelelő legkisebb méretű vasmagot. A további számítások során általában kiderül, hogy ez a méret kicsi a következők miatt:

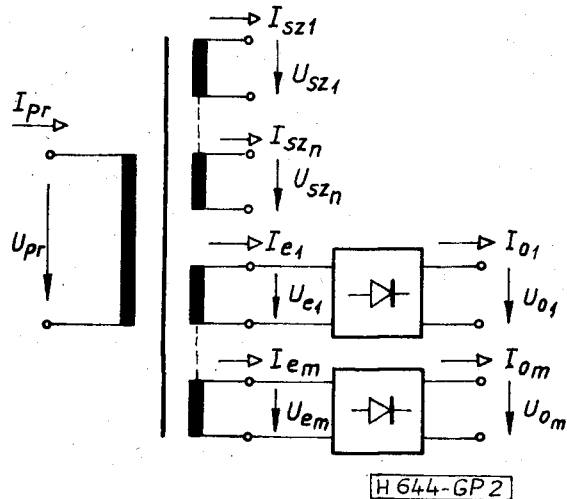
– a primer áram valóságos értéke nagyobb az (5)



1a ábra. TM (M) vasmagok veszteségi teljesítmény-diagramja



1b ábra. TM (M) vasmagok melegedés-diagramja



2. ábra. Több ohmos terheléssel és egyenirányítóval terhelt hálózati transzformátor

A primer áram effektív értéke kezdetben nem határozható meg pontosan. Értékét először az áttételezett ohmos és egyenirányítós terhelésű áramok összegével közelítjük.

egyenlet által megadott értéknél, ezért az X_m korlát jobbra, az Y_M és Y'_M korlátok lefelé tolnak (3a ábra),

– az A_{tr} transzformátorállandó a rézkitöltési tényező (F_r) függvénye:

$$A_{tr} = \frac{\rho \cdot l_k}{F_r A_t A_m^2}, \quad \text{ahol}$$

F_r a betekerceselt rézkeresztmetszet és a betekerceselhető keresztmetszet hányadosa,
 ρ a tekercselőhuzal fajlagos ellenállása,
 l_k a közepes menethossz,
 A_t a betekerceselhető keresztmetszet,
 A_m a vasmag mágneses keresztmetszete.

A rézkitöltési tényezőt a programban 0,7-re vettük fel. Ez megközelíti a szabályosan egymasmellé tekercselte csupasz huzalok elméleti helyfoglalását, amit a valóságban természetesen nem érhetünk el. A fenti választás az algoritmust jelentősen egyszerűsíti. Ez esetben ugyanis elég, ha a program csak egy irányban — a legkisebb vasmagmérettől kezdve — keresi a megfelelő vasmagot, mivel a gyakorlatban az 1. ábrán levő görbesereg felszálló ága és minimuma a valóságos rézkitöltési tényező kisebb értéke miatt feléle tolódik (3b ábra).

A megfelelő vasmagmérethez tartozó görbe tehát két okból is kitolódhat a megengedett tartományból. A 3a ábrán a határok csúsztak a görbe alá, míg a 3b ábrán a vasmag görbéje tolódott a határok fölé. A gyakorlatban ez a két folyamat együttesen jelentkezik. A rézkitöltési tényező valóságos értéke csak a tekercselés ismeretében határozható meg, így a 3b ábrán szemléltetett folyamat következményét csak a teljes számítás után ítélni lehet meg. A 3a ábrán bemutatott korlát-eltolódás azonban az eddigi számítások alapján kiválasztott — legkisebb — vasmag adatainak ismeretében az alábbiak szerint számítható:

$$U_{\text{preff}} I_{\text{preff}} = \frac{1}{1 - \beta_{\text{pr}}} \sqrt{\left[\left(\sum_{j=1}^n P_{szj} + P_v \right) (1 + \beta_{sz}) \right]^2 + \left[\sum_{k=1}^m U_{ek} I_{ek} (1 + \beta_e) \right]^2 + (1 + \beta_{sz})(1 + \beta_e) \sum_{j=1}^n P_{szj} \sum_{k=1}^m k_{pk} U_{ok} I_{ok}}, \quad (6)$$

ahol

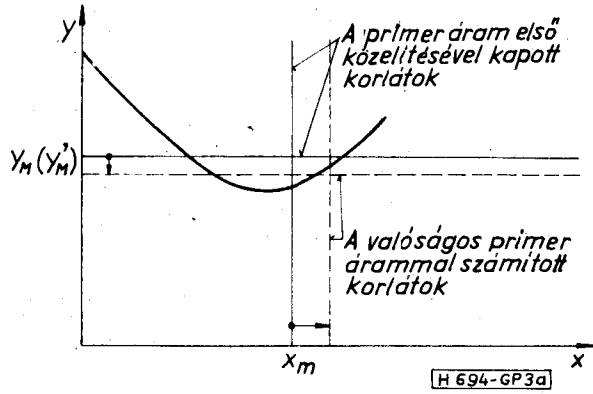
β a relatív részvesztés, azaz a tekercsben keletkező rézvesztési teljesítmény és a tekercs által szolgáltatott (primer oldalon a felvett) teljesítmény hányadosa:

$$\left. \begin{aligned} \beta_{sz} &= \frac{P_{rszj}}{P_{szj}} = \frac{P_r}{\sum_{i=1}^N U_{ieff} I_{ieff}} \\ \beta_{pr} &= \frac{P_{rpr}}{P_{pr}} = \beta_{sz} \cdot \frac{U_{preff} I_{preff}}{P_{pr}} \\ \beta_e &= \frac{P_{rek}}{P_{ek}} = \beta_{sz} \cdot \frac{k_{Uk} \cdot k_{lk}}{k_{pk}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

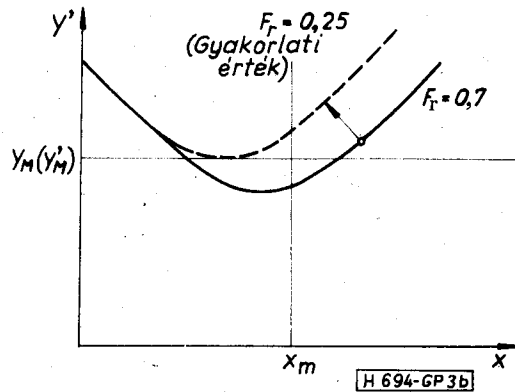
ahol

P_{rszj} , P_{rpr} és P_{rek} az egyes tekercsekben keletkező rézvesztési teljesítmények, P_{pr} a primer tekercs által felvett valós teljesítmény.

A (6) összefüggés nem számítható ki egy lépésben, mivel a relatív részvesztések tartalmazzák a kiszámítandó mennyiséget. A teljesítményt ezért egy iterációs ciklusban kell kiszámítani. A primer áram pontos értékének ismeretében az X_m , Y_M és Y'_M korlátok módosíthatók. Amennyiben a korlátok a vizsgált vasmag görbéje alá tolódtak, úgy az iterációs



3a ábra. A specifikációs korlátok eltolódása a valóságos primer áram figyelembevételével



3b ábra. A veszteségi teljesítmény — ill. melegedés — görbe eltolódása a valóságos rézkitöltési tényező figyelembevételével

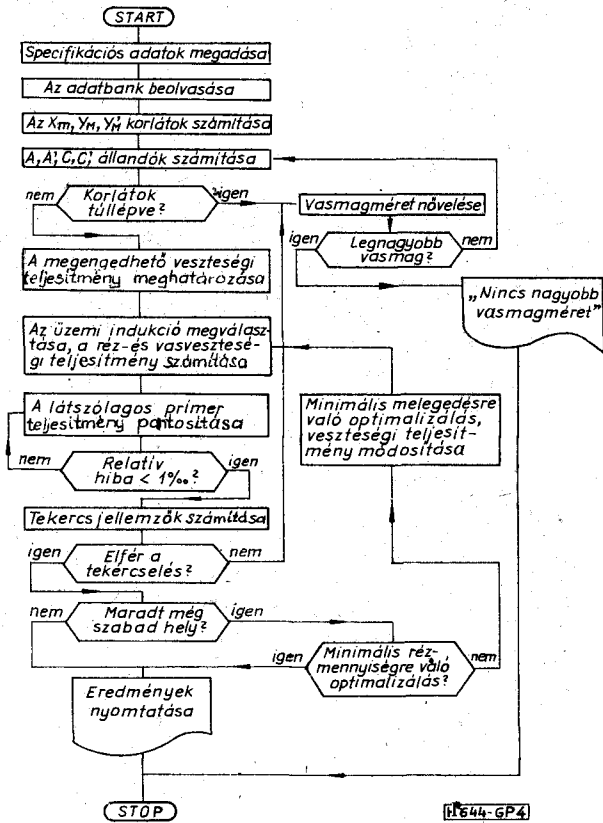
ciklust a következő nagyobb maggal kell megismételni mindaddig, amíg megfelelő méretet nem találunk. Az ily módon kiválasztott vasmaggal kiszámítjuk a szükséges menetszámokat és huzalátméreteket. Ezek, valamint a sorok és tekercsek közötti szigetelőréteg vastagságának ismeretében ellenőrizhető a helyfoglalás és a rézkitöltési tényező. A rézkitöltési tényező természetesen nem éri el a felvett értéket. Ez az elkészítés során okoz problémát, ha a tekercselés magassága a csévetest ablakmagasságánál nagyobb. Ez esetben az eddigi számításokat nagyobb vasmagmérettel kell megismételni.

A program

A program [7] működése a folyamatábra alapján követhető (4. ábra).

Indítás után a program kazettáról betölti az adatkérő idézeteket, majd a tervezővel folytatott dialógusban (6., 7., 8. ábrák) bekéri az alábbi bemenő adatokat:

- PRIMER FESZÜLTSG (V),
- OHMOS SZEKUNDER FESZÜLTSG SZÁM, az ohmos terhelésű szekunder tekercsek száma,
- EGYENIRÁNYÍTOTT FESZÜLTSG SZÁM, az egyenirányítós terhelésű szekunder tekercsek száma,



4. ábra. A program folyamatábrája

- HATÁSFOK [%], a hatásfokra nem szükséges megkötést tenni, ilyen esetben pl. zérust adhatunk meg,
- ÜZEMI HŐMÉRSÉKLET C FOK, a transzformátor maximális megengedhető hőmérséklete,
- KÖRNYEZETI HŐMÉRSÉKLET C FOK, a transzformátor környezetének maximális hőmérséklete a transzformátor jelenléte nélkül,
- MAXIMÁLIS INDUKCIÓ [T], a maximális megengedhető indukció amplitúdója,
- VESZTESÉGI SZÁM, az 1T amplitúdójú, szinuszos indukció esetén egységnyi tömegben keletkező vasvesztési teljesítmény [W/kg],
- LEMEZVASTAGSÁG, a lemezeit vasmagok lemezeinek, ill. a tekercselt vasmagok szalagjának vastagsága [mm],
- OHMOS SZEKUNDER FESZÜLTSEGEK, az ohmos terhelésű szekundertekercsek sorszáma, effektív feszültsége és árama,
- EGYENIRÁNYÍTOTT FESZÜLTSEGEK, az egyenirányító sorszáma és típusának kódja, az egyenirányító által szolgáltatott egyenfeszültség és -áram,
- EGYENIRÁNYÍTÓ TÍPUSKÓD: 1 UTAS=1, 2 UTAS=2, GRÄETZ=3,
- VASMAGTÍPUS: 1=EI, 2=TE, 3=M, 4=TM, vasmag típusának a kódja (az egyes vasmagtípusok és a hozzájuk tartozó csévetestek adatbankját szabványok alapján állítottuk össze [2, 3, 4, 5]).

A bemenő adatokat a sornymatató is rögzíti. A választott vasmagtípushoz tartozó kód beütése után

a program megkeresi a kazettán a vasmagtípus és a huzalok szabvány alapján összeállított adatbankját [6] és azokat betölti a memóriába.

Az X_m , Y_m és Y'_m korlátok számítása után következik a méretválasztási ciklus. Itt állapítjuk meg az X_m , Y_m , Y'_m korlátoknak megfelelő legkisebb vasmag méretét. Az előírt melegedés és hatásfok két veszteségi teljesítményt szab meg. E két érték közül a kisebbikkel számolunk tovább.

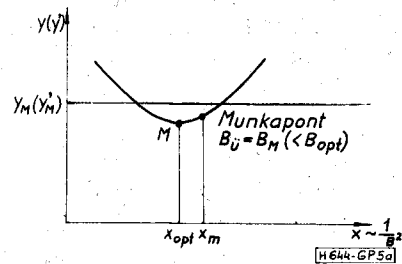
A program ezután meghatározza az üzemi indukciót (B_u). Ennek megértéséhez tekintünk az 5a és 5b ábrákat. A görbéken megjelölt minimumhelyet (M) a vasmag optimális munkapontjának nevezzük. U. i. ebben a munkapontban a transzformátor melegedése, ill. vesztesége minimális, a réz- és a vasvesztési teljesítmények egyenlők. Ha az optimális munkaponthoz tartozó indukció nagyobb a maximálisan megengedett indukciónál, úgy az üzemi indukciót a maximális indukcióra vesszük fel (5a ábra). A vas- és rézvesztési teljesítmény értéke ekkor külön-külön kiszámítható:

$$P_v = A \cdot V_1 B_M^2 \quad P_r = \frac{C \left(\sum_{i=1}^N U_{i\text{eff}} I_{i\text{eff}} \right)}{B_M^2}$$

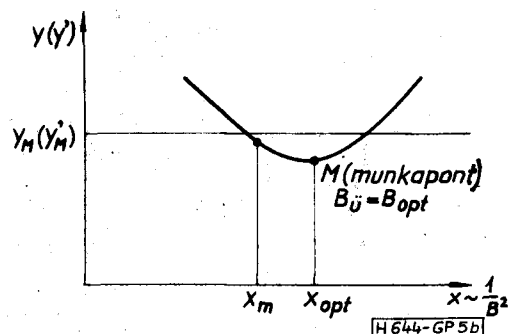
Amennyiben az optimális munkaponthoz tartozó indukció a maximális indukciónál kisebb (5b ábra), úgy az üzemi indukció az optimális munkaponthoz tartozó indukció értékét veszi fel. Ez esetben a veszteségi teljesítmény fele-fele arányban oszlik meg vas- és rézvesztési teljesítményre.

Ismerve a veszteségi teljesítményeket a program végrehajtja az előzőekben ismertetett iterációs ciklust. Az iteráció akkor fejeződik be, ha látszólagos teljesítmény relatív számítási hibája 1%-nál kisebb.

A tekercs adatokat szubrutinok számítják a tekercsek elhelyezésének sorrendjében (primer, ohmos ter-



5a ábra. A munkapont helye abban az esetben, ha az optimális munkapont a megengedett térfegyedben kívül esik



5b ábra. Az üzemi Indukció megválasztása, ha az optimális munkapont a megengedett térfegyedbe esik

helésű szekunder, egyenirányítós terhelésű szekunder). A szubrutinok kiszámítják az aktuális menetszámot és huzalátmérőt, megkeresik a legközelebbi nagyobb szabványos huzalátmérőt és a hozzá tartozó szigetelt átmérőt. Ez utóbbi alapján meghatározzák a soronkénti menetszámot, a sorok számát és a sorok, valamint a tekercsek közötti szigetelések figyelembevételével a tekercselés magasságát. Ezután pontosan kiszámítható a tekercsek ellenállása és a huzalok tömege, mivel a közepes menethossz a tekercselés helyfoglalásának ismeretében adott.

A primer tekercs realizálása után a program kiszámítja a tényleges primer rézvesztést, ami a szabványos huzalátmérőre való kerekítés miatt rendszerint kisebb a megengedettnél. Az így keletkező különbséget a szekunder tekercs-adatak számítása előtt hozzáadjuk a szekunder rézvesztéshez. A szekunder tekercsek adatainak meghatározása után következik a helyfoglalás ellenőrzése. Amennyiben a teljes tekercselési magasság több mint a csévetest ablakmagasságának 90%-a (a 10% helytartalékot gyártási bizonytalanságokra tartjuk fenn), úgy a program visszaugrik a vasmagválasztási ciklus elejére és egyfel nagyobb vasmagmérettel megismétli az eddigi számításokat. Ez az első alkalommal gyakran előfordul, mivel a rézkitöltési tényező általában nem éri el a felvett értéket.

Miután a tekercselhetőség feltétele teljesül, a program megvizsgálja, mennyi szabad hely maradt. Ezen a ponton a felhasználónak lehetősége van a gépprogramkapcsolójával eldönteni, hogy milyen jellegű optimalizálás történjék. Amennyiben ugyanis a helyfoglalás nem éri el az ablakmagasság 80%-át, úgy a program megvizsgálja a programkapcsoló állását. A programkapcsoló kiengedett állapotában az optimalizálás célja a minimális rézmenység felhasználása. Ez esetben a program nem számol tovább. Ha az optimalizálás célja a minimális melegedés (maximális hatásfok) elérése, akkor a programkapcsolót a futtatás előtt benyomjuk. Ez esetben 80% alatti helyfoglalásnál 5%-kal csökkentjük a megengedett veszteségi teljesítményt és visszaugratunk az üzemi indukció megválasztására. Ez a megoldás lehetővé teszi, hogy az eredetileg optimális munkapontba felvett indukció kövesse a munkapont-eltolódást (jobbra-lefelé), sőt előfordulhat, hogy az eredetileg tilos területre eső optimális munkapont betolódik a megengedett tartományba. A veszteségi teljesítményt módosító ciklus addig ismétlődik, amíg a helyfoglalás el nem éri a 90%-ot. A számítások befejezése után a program a kazettáról betölti az eredménynyomtatási idézeteket és a 6., 7., 8. ábrákon látható mintapéldák szerint a sornyomtatón az alábbi kimenő adatokat közli:

- VASMAGMÉRET,
- $U \cdot I$ NÉVLEGES [W], a primertekercs effektív feszültségének és áramának szorzata,
- HATÁSFOK [%], a transzformátor tényleges hatásfoka,
- HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK, a transzformátor tényleges felmelegedése a környezeti hőmérséklethez képest,
- VASVESZTESÉG [W], a vasmagban keletkező veszteségi teljesítmény,

- PRIMER RÉZVESZTESÉG [W], a primer tekercsben keletkező veszteségi teljesítmény,
- OHMOS SZEKUNDER RÉZVESZTESÉG [W], az ohmos terhelésű szekunder tekercsben keletkező veszteségi teljesítmény,
- EGYENIRÁNYÍTÓ RÉZVESZTESÉG [W], az egyenirányítós terhelésű szekunder tekercsekben keletkező veszteségi teljesítmény.
- PRIMER TEKERCES ADATAI:
- FESZÜLTSG [V],
- MENETSZÁM,
- HUZALÁTMRŐ [MM], a szabványos rézhuzal szigetetlen átmérője [mm],
- EGY SORBAN LEVŐ MENETEK SZÁMA,
- SOROK SZÁMA,
- ELLENÁLLÁS [OHM]
- HUZAL SÜLYA [KG],
- OHMOS SZEKUNDER TEKERCES, adatai megegyeznek a primer tekercsre megadottakkal,
- EGYENIRÁNYÍTÓ TEKERCES ADATAI, az adatok megegyeznek a primer tekercsre megadottakkal.

A program működési feltételei:

A szekunder tekercsek maximális száma az alábbiak szerint kötött:

$$2n + 3m \leq 30.$$

Ez gyakorlatilag nem jelent megszorítást. A tekercselési sorrend kötött. (1. primer, 2. ohmos terhelésű

PRIMER	FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]
2200	2200	2200
OHMOS SZEKUNDER	OHMOS SZEKUNDER	OHMOS SZEKUNDER
FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]
2	2	2
EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]
2	2	2
HATÁSFOK [%]	HATÁSFOK [%]	HATÁSFOK [%]
98	98	98
HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK
850	850	850
KÖRNYEZETI	KÖRNYEZETI	KÖRNYEZETI
HŐMÉRSÉKLET C FOK	HŐMÉRSÉKLET C FOK	HŐMÉRSÉKLET C FOK
500	500	500
HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK
INDUKCIÓ [V]	INDUKCIÓ [V]	INDUKCIÓ [V]
0,2	0,2	0,2
VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]
200	200	200
PRIMER	PRIMER	PRIMER
VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]
200	200	200
OHMOS SZEKUNDER	OHMOS SZEKUNDER	OHMOS SZEKUNDER
FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]
2	2	2
EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]	FESZÜLTSG [V]
2	2	2
HATÁSFOK [%]	HATÁSFOK [%]	HATÁSFOK [%]
98	98	98
HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK
850	850	850
KÖRNYEZETI	KÖRNYEZETI	KÖRNYEZETI
HŐMÉRSÉKLET C FOK	HŐMÉRSÉKLET C FOK	HŐMÉRSÉKLET C FOK
500	500	500
HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK	HŐMÉRSÉKLET-EMELKEDÉS C FOK
INDUKCIÓ [V]	INDUKCIÓ [V]	INDUKCIÓ [V]
0,2	0,2	0,2
VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]	VEZTESÉG [W]
200	200	200

6. ábra. Ohmos terhelésű hálózati transzformátor specifikációs adatai és a tervezés eredményei sornyomtatón

szekunder, 3. egyenirányítós terhelésű szekunder-tekercek.) A sorok és tekercsek közötti szigetelés, valamint a borítószigetelés vastagsága kötött (0,02, 0,2 és 0,2 mm). A szigetelések vastagsága a KGSZ 61.3001–71 K-ban előírt átütési szilárdságnak minden esetben megfelel. Az egyes vasmagtípusok legkisebb méreteinél azonban némileg túlméretezett, így a rézköltési tényezőt kedvezőtlenül befolyásolja.

A program maximális tárkiépítéssel (8K) ellátott EMG 666 számítógépen futtatható. A tervezéshez használt adatbankok méretei:

- EI és TE magok: $42 \times 7 = 294$ adat,
- M és TM magok: $16 \times 7 = 112$ adat,
- Cu MZZ huzalok: $60 \times 2 = 120$ adat.

A program 1999 utasításból áll, kontrollszummája 225 678. A tervezés időtartama — a tekercsek számától és az optimális módjától függően — kb. 5–10 perc. Az idő legnagyobb részét a specifikációs adatok beírása, a megfelelő adatbank beolvasása és az eredmények nyomtatása tölti ki. A tényleges számítási idő mindössze 5–10 másodperc.

Számítási példák

Az alábbiakban bemutatunk három példát különféle rendeltetésű hálózati transzformátorok méretezésére.

— Első példa: Tisztán ohmos terhelésű — pl. forrasztópáka — transzformátor tervezése EI vasmagra. Szekunder terhelés: 24 V/1 A.

PRIMER	HÁLÓZATI	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZULTSEG /V/	TEHETSZORHATOK	TEKEREK
2200	ADATAI	ADATAI
OHMOS SZERUNDEK	REZVESZTISEG /W/	FESZULTSEG /V/
0	000	22000
EGYENIRÁNYÍTÓI	VASMAGTÍPUS	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZULTSEG SZÁMA	1H-102/5	TÍPUSA
2		GP17
ÁHTÁRSÓK /K/	VVI NEKILGÉS /W/	HENETSZÁM
00	19520	44
HOMERSEVELT /FK/		HUZALTÁRHO /MM/
1000		1250
KÖNKÉZÉSI	ÁHTÁRSÓK /K/	EGY SORRAN LEYD
0000	0000	HENETEK SZÁMA
HOMERSEVELT /FK/	0200	44
000		SOROK SZÁMA
HÁMLIARIS	HOMERSEVELT	ELLENÁLLÁS /OHM/
INDUKCIO /TZ/	EMELKEPÉS /FK/	016
18	6806	REZVESZTISEG /W/
VESZTESEGI SZÁM	VASVESZTESEG /W/	044
060	444	HUZAL SÜLYA /KG/
LEREZVASTÁSSÁG	PRIMER	010
075	REZVESZTISEG /W/	418
EGYENIRÁNYÍTÓI	OHMOS SZERUNDEK	FESZULTSEG /V/
FESZULTSELET /V/	REZVESZTISEG /W/	000
0000	000	3000
EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ
TÍPUSOD /UTAS/	REZVESZTISEG /W/	TÍPUSA
20100-2 GP17	402	GP17
		HENETSZÁM
	PRIMER	44
TÍPUSOD	TEKERES	HUZALTÁRHO /MM/
1	ADATAI	1250
FESZULTSEG /V/	FESZULTSEG /V/	EGY SORRAN LEYD
300	22000	HENETEK SZÁMA
000		44
0000	HENETSZÁM	SOROK SZÁMA
2000	361	1
	HUZALTÁRHO /MM/	ELLENÁLLÁS /OHM/
	0630	017
TÍPUSOD	EGY SORRAN LEYD	HUZAL SÜLYA /KG/
2	HENETEK SZÁMA	010
FESZULTSEG /V/	HENETEK SZÁMA	010
300	05	010
000	SOROK SZÁMA	SOROK SZÁMA
000	5	5
	ELLENÁLLÁS /OHM/	521
	521	521
VASMAGTÍPUS 1=1	HUZAL SÜLYA /KG/	020
2=TE 3=H 4=TH	020	020

PRIMER	HÁLÓZATI	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZULTSEG /V/	TEHETSZORHATOK	TEKEREK
2200	ADATAI	ADATAI
OHMOS SZERUNDEK	REZVESZTISEG /W/	FESZULTSEG /V/
0	000	22000
EGYENIRÁNYÍTÓI	VASMAGTÍPUS	EGYENIRÁNYÍTÓ
FESZULTSEG SZÁMA	1H-102/5	TÍPUSA
2		GP17
ÁHTÁRSÓK /K/	VVI NEKILGÉS /W/	HENETSZÁM
00	19520	44
HOMERSEVELT /FK/		HUZALTÁRHO /MM/
1000		1250
KÖNKÉZÉSI	ÁHTÁRSÓK /K/	EGY SORRAN LEYD
0000	0000	HENETEK SZÁMA
HOMERSEVELT /FK/	0200	44
HÁMLIARIS	HOMERSEVELT	SOROK SZÁMA
INDUKCIO /TZ/	EMELKEPÉS /FK/	ELLENÁLLÁS /OHM/
18	6806	016
VESZTESEGI SZÁM	VASVESZTESEG /W/	044
060	444	REZVESZTISEG /W/
LEREZVASTÁSSÁG	PRIMER	010
075	REZVESZTISEG /W/	418
EGYENIRÁNYÍTÓI	OHMOS SZERUNDEK	FESZULTSEG /V/
FESZULTSELET /V/	REZVESZTISEG /W/	000
0000	000	3000
EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ	EGYENIRÁNYÍTÓ
TÍPUSOD /UTAS/	REZVESZTISEG /W/	TÍPUSA
20100-2 GP17	402	GP17
		HENETSZÁM
	PRIMER	44
TÍPUSOD	TEKERES	HUZALTÁRHO /MM/
1	ADATAI	1250
FESZULTSEG /V/	FESZULTSEG /V/	EGY SORRAN LEYD
300	22000	HENETEK SZÁMA
000		44
0000	HENETSZÁM	SOROK SZÁMA
2000	361	1
	HUZALTÁRHO /MM/	ELLENÁLLÁS /OHM/
	0630	017
TÍPUSOD	EGY SORRAN LEYD	HUZAL SÜLYA /KG/
2	HENETEK SZÁMA	010
FESZULTSEG /V/	HENETEK SZÁMA	010
300	05	010
000	SOROK SZÁMA	SOROK SZÁMA
000	5	5
	ELLENÁLLÁS /OHM/	521
	521	521
VASMAGTÍPUS 1=1	HUZAL SÜLYA /KG/	020
2=TE 3=H 4=TH	020	020

7. ábra. Egyenirányítós terhelésű hálózati transzformátor specifikációs adatai és a tervezés eredményei sornyomatán

8. ábra. Vegyes terhelésű hálózati transzformátor specifikációs adatai és a tervezés eredményei sornyomtatón

— Második példa: (7a és 7b ábrák) 2 db Gräetz egyenirányítóval terhelt transzformátor tervezése TM vasmagra (pl. egy teljesítményerősítő kettős tápegysége). Szekunder terhelés: $2 \times 30 \text{ V}/2 \text{ A}$.

Ezt a példát mindkét optimalizálási lehetőségre lefuttattuk. A 7a ábra a minimális rézmennyiségre, a 7b ábra a minimális melegedésre való optimalizálás eredményeit mutatja. Ezek összehasonlításából látható, hogy az első esetben a huzalok össz súlya 0,07 kp-dal kevesebb, a második esetben pedig az üzemi hőmérséklet emelkedése kb. $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal kisebb:

— Harmadik példa (8. ábra): 1 db ohmos és 3 db különböző egyenirányítóval terhelt transzformátor tervezése M vasmagra (pl. egy tranzisztoros oszcilloszkóp tápegysége). Szekunder terhelések: $6,3 \text{ V}/0,6 \text{ A}$ (ohmos), $600 \text{ V}/5 \text{ mA}$ (egyutas), $150 \text{ V}/10 \text{ mA}$ (kétutas), $15 \text{ V}/200 \text{ mA}$ (Gräetz).

Mindhárom esetben a méretezést melegedésre végeztük (hatásfoknak zérust adtuk meg), mivel a gyakorlati esetek többségében erre van a szigorúbb előírás.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk Erdőkővy Henriknek, aki diplomatervi feladatként a megadott tervezési algoritmus alapján elkészítette a program első, egyszerűbb változatát és összeállította a futtatáshoz szükséges adatbankot, valamint dr. Takács Ferenc docensnek, aki a kéziratot átnézte és a munkánkat számos értékes megjegyzéssel segítette.

IRODALOM

- [1] Gránát J., Takács, F.: Vas- és ferritmagos transzformátorok tervezése. Híradástechnika XXII. évf., 7. sz., 201—215. o.
- [2] KGSZ 61.3110—71: Lemezmaglap-csomagok vastagsága.
- [3] KGSZ 61.3102—71: Tekercselte—vágott mag transzformátorhoz és fojtótekercshez.
- [4] KGSZ 61.3112—71: Összerakható csévetestek „E1” maglapokhoz.
- [5] KGSZ 61.313—71: Összerakható csévetestek „M” maglapokhoz.
- [6] MSZ 15.800/3—74: Zománchuzal. Felület. Méretek.
- [7] Erdőkővy, H.: Hálózati transzformátor tervezése EMG 666 asztali számítógépen. Diplomaterv, BME—HEI, 1976.