

Fóliatekerceses transzformátorok

HAJNAL PÉTER

Orion



Az Orion Rádió- és Villamossági Vállalatnál 1980 óta foglalkoznak a fóliatekerceses transzformátor kifejlesztésével és gyártástechnológiai feltételeinek biztosításával. 1983-ban vásárolt és saját előállítású gépparkkal új gyártórendszert létesítettek. Az alumínium fóliás transzformátorok tervezése számítógéppel történik, és NC-vezérlésű automata készíti a komplett tekercset. Az új transzformátorok megbízhatóbbak, mint a hagyományos rézhuzalos szerkezetűek.

A különböző transzformátorok tervezésénél már régen felvetődött annak a gondolata, hogy a tekercsek menetei a már hagyományosnak számító kör keresztmetszetű rézhuzal helyett alumínium fóliából készüljenek. Ezt az igényt nemcsak gazdasági okok táplálták, hanem a méretek csökkentésének, a gyártási szórások szűkítésének szándéka is.

A megvalósítás sokáig váratott magára, míg a 70-es évek végén szinte egyidőben jelentkezett három nyugat-európai cég olyan ferritmagos hangfrekvenciás tartományban működő transzformátorok tömeggyártásával, amelyek tekercselése alumínium fóliával készült.

Ezek a transzformátorok viszonylag kis teljesítményűek (eddig 100–110 VA-esek) de kiválóan alkalmasak elektronikai vagy híradástechnikai berendezésekben történő alkalmazásra.

Az Orionban 1980 óta folytak kísérletek fóliatekerceses transzformátorok előállítására és intenzív fejlesztés, valamint OMF_B támogatással vásárolt gyártóeszközök segítségével 1983-ban megindulhatott a transzformátorok sorozatgyártása. A gyártás első évében a kapcsolóüzemű tápegységhez és tv-készülékek vízszintes eltérítő rendszeréhez készültek különböző típusú fóliatekerceses transzformátorok. E cikk kereteiben a transzformátor felépítésének és kritikus gyártástechnológiai lépéseinek áttekintő bemutatására van lehetőség.

A transzformátor felépítése

Ahhoz, hogy e transzformátorok előállítása és sorozatgyártása komolyan szóba jöhessen — a konstrukciós kérdéseken túl — sok eddig még meg nem ol-

HAJNAL PÉTER

1956-ban kezdett technikusként az Orionban. Műszaki Főiskolai diplomát 1963-ban szerzett. A televízió gyáregység főmérnökeként 1964-től 1976-ig dolgozott. Termelésirányítási feladatai mellett főként gyártástechnológia-fejlesztéssel foglalkozott. Aktívan vett részt a GTE — szerelés-technológia bizottság

munkájában. 1974-ben kapott szabadalmi oltalmat „UK”-gyártósorok konstrukciójára, amely az MTM szereléstehnológia ma is alkalmazott termelékeny eszköze. 1976-tól a gyártmányfejlesztésen dolgozik és vállalata alkatrészosztályát vezeti. Tagja több nemzetközi együttműködés munkacsoportjának, társadalmi munkát HTE-ben végez.

dott bonyolult gyártástechnológiai feltételnek kellett eleget tenni.

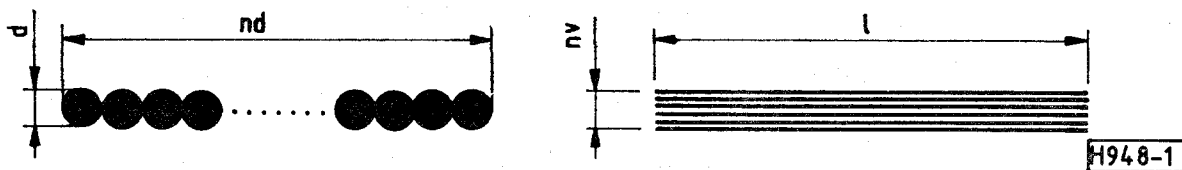
Ha most arra gondolunk, hogy a fóliakondenzátorok gyártásánál ismert eljárások és eszközök adják a transzformátor gyártásának megoldását is, akkor látnunk kell a szerkezeti különbségekből adódó többletfeladatot is.

Alapvető eltérés a két alkatrész között az, hogy míg a kondenzátor fegyverzetének egy kezdeti és egy végkivezetése van, ennél fogva egy ciklusban készül, addig a transzformátor több tekercseleme és egymástól független vagy közös kivezetései határozza meg a ciklusok számát és milyenségét.

Ezért a fóliatekerceses transzformátor gyártását csak olyan NC-vezérlésű összetett többletű célgéppel volt érdemes elkezdni, amely alkalmas arra, hogy a tekercskészítés minden műveletét beavatkozás nélkül végezze, azt ismétlni tudja és egy változtatási igénynek gyorsan eleget tudjon tenni. De cél volt az is, hogy a transzformátorgyártás többi műveletéhez is hasonlóan korszerű eszközök álljanak rendelkezésre.

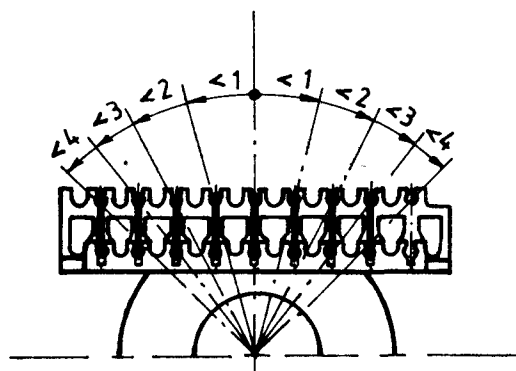
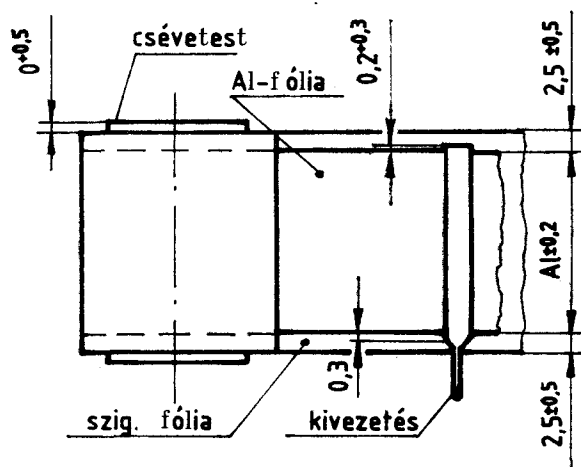
Vizsgáljuk meg a fóliatekerces szerkezeti felépítését és néhány kritikus méretét.

Az 1. ábra a hagyományos kör keresztmetszetű réz, illetve alumínium fóliatekerces térkitöltésének összehasonlítását mutatja. A réz és alumínium fajla-



1. ábra

Beérkezett: 1984. II. 1. (*)



H948-2

2. ábra

gos ellenállásával figyelembe vett vezeték keresztmetszetek néhány példáját a táblázat hasonlíttja össze:

$$\rho_{Cu} = 0,0175, \quad \rho_{Al} = 0,028.$$

Cu huzal \varnothing [mm]	Cu huzal A [mm ²]	Fajlagos ellenállás R [Ω /m]	Al fólia A [mm ²]	Al fólia ha: l = 30 mm v [mm]
0,2	0,0134	0,557	0,0503	0,0017
0,315	0,078	0,224	0,125	0,0042
0,355	0,099	0,176	0,1588	0,0053
0,4	0,1256	0,139	0,201	0,0067
0,5	0,196	0,089	0,315	0,0105

Fenti méretválasztékkal példaként tervezett több-elemes transzformátor tekercs számított és optimalizált méretei a következőképpen alakulnak:

Cu tekercs				Al tekercs	
kivez. szám	sorok száma	menet	\varnothing [mm]	v [mm]	sor
3-5	2	71	0,5	0,01	71
11-12	1	28	0,355	0,01	28
12-13		7	0,355	0,01	7
13-14		7	0,355	0,01	7
14-15		30	0,355	0,01	30
6-10	1	3	2 × 0,355	0,01	3
Sorokénti szigetelés:				0,06,	0,006

amelyből az összeadó sorok (vezetők és szigetelők) vastagságával számolva:

$$Cu \text{ opt.} = 2,365 \text{ mm,}$$

$$Al \text{ opt.} = 2,342 \text{ mm.}$$

Ebből az látszik, hogy az egymás fölé helyezett alumínium menetekkel felépített tekercs vastagsága nem adódik nagyobbra a hagyományosnál. Nem számoltunk azonban eddig a fóliatekercselés javára írható két fontos méretcsökkentő tényezővel. Az egyik abból adódik, hogy amíg a rézhuzalosnál minden tekercsvéget — az egyoldalas kivezetés igénye miatt — csak a sormagasság növelésével lehet visszavezetni (+ szigetelőcső), amely jelentősen hízalja az átmérőt, addig a fóliatekercs $\varnothing 1$ mm-es láb kivezetése 0,2 mm-re lapítva foglal helyet. A másik

tényező a komplett tekercs „légmentes” feszessége, amelyet csak fóliával és teljesen automatizált műveletvégzéssel lehet elérni. Így a fóliával készült tekercselés 7–10%-os gyakorlati méretcsökkenést eredményez.

A tekercs felépítésére nézve fontos követelmény a láb kivezetések helyzete. Itt további két feltételnek kell teljesülni:

- a kivezetés lapított részének elhelyezése az alumínium fólián,
- a kivezetések sugár irányú szögelosztása.

A 2. ábra érzékelteti a kivezetések helyzet- és mérettartásának igényeit. (Bal oldali kép a láb hegesztésének helyét, a jobb oldali a sugárirányú helyzetét mutatja).

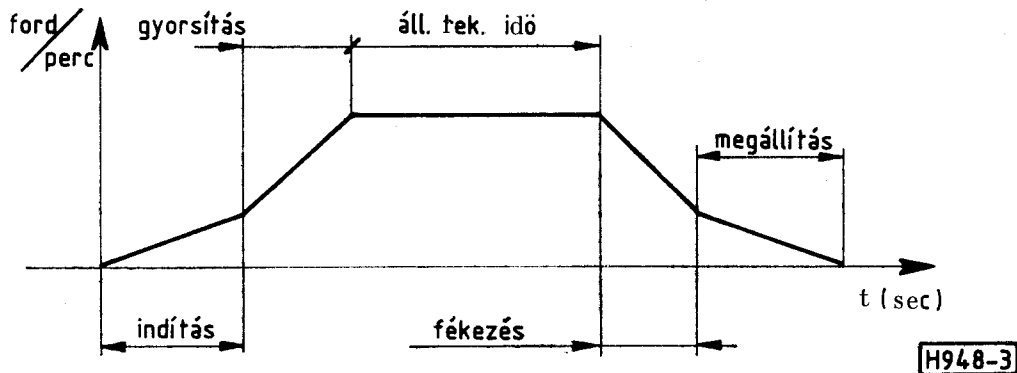
Az eddigiekből is látszik, hogy a tekercs elkészítéséhez még megoldást kellett találni:

- a láb kivezetések és az alumínium fólia megbízható mechanikus és elektromos kötésére (nagyfrekvenciás hegesztés),
- a kör keresztmetszetűnek adagolt $\varnothing 1$ mm-es bronz kivezetések 0,2 mm-re történő lapítására,
- a vezető fólia meghatározott helyen történő elvágására, és az új tekercselem indítására,
- a tekercseléssel folyamatosan növekvő átmérő miatti korrekciókra,
- a tekercselés befejezésénél a vezető és szigetelő fólia zárására,
- a csévetest pozicionálására stb.

A felvázolt szerkezeti felépítés is utal a gyártóeszköz bonyolultságára és precizitás igényére és arra is, hogy a lényegében kézzel is elkészíthető huzalos transzformátorral szemben milyen nehézségek készítették a fóliatekercses transzformátor gyártását.

A tekercselő gép

A tekercselő cél gép több villamos alapgép és pneumatikus eszközök felhasználásával, elektronikus szabályzással és vezérléssel, számítógépes programozással megépített gyártásfejlesztői munka eredménye.



3. ábra

A tekercselőgép alkalmas arra, hogy meghatározott geometriai méretek között többféle transzformátor tekercstestet készítsen, és azt ismételve kívánság szerinti tekercselemekkel és azok meghatározott helyzetű kivezetésével. A tekercskészítés ütemideje — menetszámtól és a kivezetések számától függően — 30–60 sec/db.

Más típusú változatlan anyagigényű transzformátorra az átállási, átprogramozási idő: 2–3 perc.

Kezdő műveletek: csévetestet adagolóból kiemeli, orsóra helyezi, pozicionálja.

Befejező műveletek: tekercstestet lezárja, orsóról leemeli, gyűjtőbe továbbítja.

Mind a kezdő, mind a befejező műveletek automatizáltak, a gép kezelőjének csak az anyaggal való feltöltöttséget kell ellenőrizni.

A kezdő és befejező műveletekkel együtt a tekercselőkészítésének gépprogramját 7 tekercselő vagy üzemmód program és 32 műveleti lépés mátrixával lehet elkészíteni. Az így felírható funkciódiaagram már tartalmazza a különböző mozgási sebességeket, illetve azok szakaszos vagy folyamatos változásait.

Ennek jó jellemzője a 3. ábrán bemutatott tekercselőmotor egy sebességi fokozatának jelleggörbéje.

A tekercselőgép vezérlését elektronika végzi, amely három állapotban tudja fogadni a tervezett transzformátor adatait.

- állapotban: a gép programozása saját klaviatúráján történik a funkciódiaagram lépéseinek ismeretében. Ez a módszer alkalmas egyszerűbb próbadarabok készítésére vagy új fejlesztésű transzformátorok várható adatainak ellenőrzésére, egyes tekercselemek elkészítésére stb.,
- állapotban: az elektronika memóriája közvetlenül a számítógép kimenetéről kapja a tekercselő program kódjait. Ennek az állapotnak az előnyét az adja, hogy a konstruktor a tervezett transzformátor néhány adatát a számítógépbe (annak memóriájába) betáplálja és pár perc múlva a gépről leemelheti az első tekercset,
- állapotban: az elektronika beégetett EPROM-ról emlékszik a gép vezérlésének kódjaira a már korábban jóváhagyott adatok alapján. Ebben az állapotban történik a sorozatgyártás, ahol az EPROM-ok száma szerinti tekercsféleségek bármikor azonnal gyártásba vehetők.

Csatlakozólap szerelése — lábak hajlítása

A tekercselő automatából kikerülő komplett lezárt tekercstest kivezetései a tekercs hossz tengelyével párhuzamosan helyezkednek el, sugár irányban pedig $19,5^\circ$ -ra vannak egymástól (4. ábra).

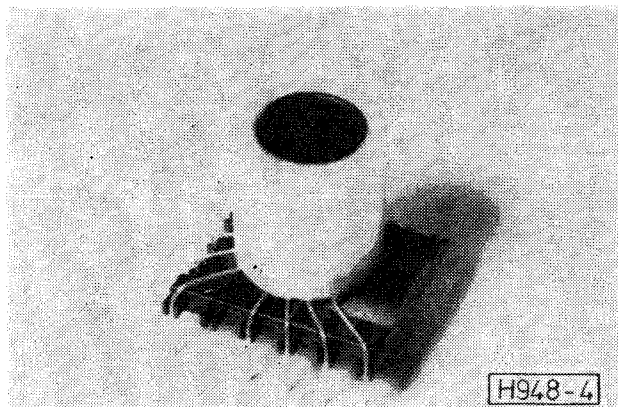
A transzformátor összeszerelése előtti feladat, hogy e kivezetéseket a csatlakozó laphoz illeszkedve hajlítsuk és rögzítsük.

Ezt a műveletet egy kiegészítő berendezés végzi 8 egymást követő lépésben pneumatikus működtetéssel elektronikusan vezérelve.

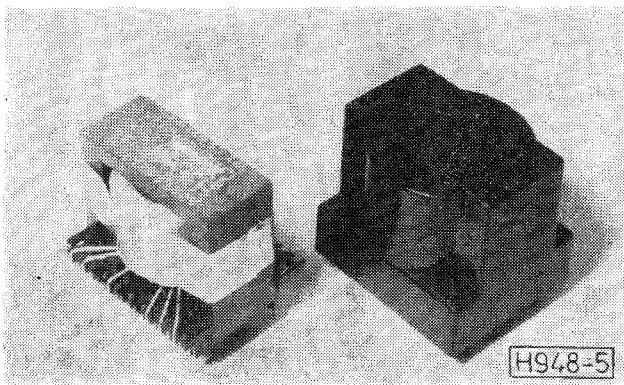
E „hajlító-vágó” automatának biztosítani kell:

- a láb kivezetések fóliahegesztésének tehermentességét,
- a kivezetések közötti távolságtartást az átütési szilárdság miatt,
- a csatlakozólap és kivezetések illeszkedését,
- a kivezetések rögzítését,
- a kivezetések méretre vágását.

A „hajlító-vágó” gép megvalósítását és üzembeállítását azonban nemcsak a felsorolt műszaki-megbízhatósági okok készítették, hanem a fóliatekercselés rövid ütemidejéből adódó diktált magas termelékenység is. Talán nem szorul külön bizonyításra, hogy egy 9–10 kivezetéssel rendelkező transzformátor csatlakozó lapjának kézi szerszámokkal való szerelése nem mérhető össze a már említett 0,5 perces tekercselési idővel.



4. ábra



5. ábra

Impregnálás

A fóliatekerceses transzformátornál alkalmazott impregnáló eljárások megegyeznek a hagyományos módszerekkel azzal a különbséggel, hogy az üzembe állított célgépek félautomaták és műveleti idejük, illetve kapacitásuk összhangban van a tekercseléssel.

Ily módon a transzformátor funkciója szerint háromféle impregnálás alkalmazható:

- kiöntő vákuum nélküli,
- vákuumos mártó,
- vákuumos kiöntő impregnálás.

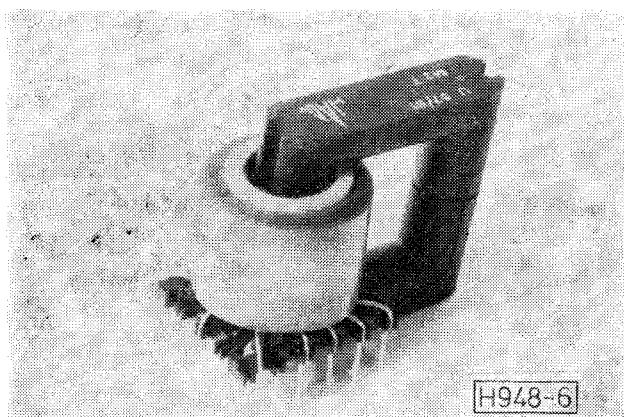
Egyes transzformátortípusoknál egy transzformátoron belül kétfajta impregnálás is lehet igény például akkor, ha a primer fóliából, a nagyfeszültségű szekunder tekercs pedig rézhuzalból készül. (Pl. fekete-fehér tv-sorkimenője.)

Vasmagozás — ragasztással — induktivitásméréssel.

A funkciótól vagy a konstrukciótól függően ER vagy U típusú ferritmaggokkal készül a fóliatekerceses transzformátor.

Egy kapcsolóüzemű tápegység transzformátorának — egy csévetesten levő — primer és szekunder tekercseit ER 48-as típusú N27-es 1,5 mm-es köszörült légréssel ellátott ferritmág pár fogja közre, amelyet ragasztással lehet rögzíteni. (Az egyszer összeragasztott ferritmág csak roncsolással bontható.)

Az alkalmazott Loctite jellegű ragasztó térkitöltése 0,02 mm így a köszörült légrést növelő hatása



6. ábra

gyakorlatilag elhanyagolható. A ragasztó adagolására és a vasmag összeszorítására készített pneumatikus céleszközök biztosítják a szerelés egyöntetűségét.

Az 5. ábra tápegység transzformátort mutat ER 48-as ferritmagon szerelve, ragasztva impregnálás előtt.

Az U magos transzformátorok ferritjeit is ragasztós eljárással rögzítik azzal a különbséggel, hogy a szükséges $2 \times 0,1$ mm vagy $2 \times 0,2$ mm-es légrést az összeillesztés során kell biztosítani.

Erre a célra két komponensű műgyanta alapanyagú olyan ragasztó bizonyult alkalmasnak, amelynek térkitöltése összemérhető a kívánt légréssel. Így a szükséges légréstől függően elérhető a légréspapír mellőzése is.

Ennek az eljárásnak az volt a feltétele, hogy módszer kellett találni a papírral nem határolt légrést beállítására és annak tartására a ragasztó kötési ideje alatt (2–3 perc).

A megoldást egy körasztalos pneumatikus célgép adta, amelynek első arretált helyzetében induktivitásméréssel állítható be a szükséges légrést, a többi helyzetben pedig reteszelve tartja a beállított értéket.

Az indikálást a fóliatekerces egyik tekercseleme és egy etalonnal ellátott célműszer szolgálja. A tapasztalatok szerint a beállítás pontossága jobb a hagyományos légréspapír és szorítókenyveles megoldásnál, mert az nem függ a papír mérethibáiról, a sorjától, a kengyel szorításától esetleg későbbi nyúlásától.

A 6. ábra U 57-es ferritmagra szerelt színes sorkimenő transzformátort mutat.

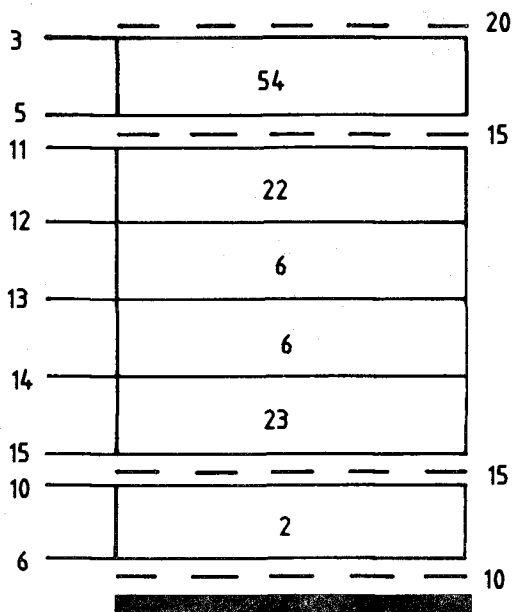
A fóliatekerces számítógépes tervezése

A tekercselőgép bemutatásakor már volt szó arról, hogy a gép lépésprogramját 7×32 -es mátrixszal lehet meghatározni. Ennek ismeretében és egy hagyományos módszerekkel tervezett transzformátor adataival egy kalkulátor segítségével közvetlenül is lehet lépésről lépésre tekercset felépíteni. Ez az eljárás azonban túl hosszadalmas, sok hibás adat bevitelét okozhatja és csak sokszoros próba eredménye után készül el a kívánt tekercs. Továbbá, ha figyelembe vesszük, hogy tekercsadataink menetszámban adóttak, a tekercsátmérő pedig folyamatosan növekszik és a kivezetéseknek mindig meghatározott helyre kell kerülni, akkor a szükséges korrekciókat már nem is lehet megbízhatóan kézben tartani. Teljesen új transzformátornál pedig, ahol a felhasznált fóliavastagságok is változnak, ott ezzel a módszerrel csak empirikus úton készülhetne a tekercselés.

Ezért tehát elkerülhetetlen volt, hogy gyártási rendszer elején ne egy számítógép legyen.

Egy-egy transzformátor típus átlagosan 100 lépésből álló számítógépes programja a transzformátor tekercselrendezését és menetszámait fogadja, majd a program futtatása után a tekercselő gép kódjait kapjuk. A számítógéphez kapcsolt rajzoló felvázolja a tekercs szerkezetét és annak adatait is, így alkalmas arra, hogy egyben a transzformátor elektromos dokumentációja is legyen.

A transzformátorméretezés általános szabályainak betartásával kapott voltonkénti menetszámok ismeretében, a kivezetések helyzete és szigetelési igénye



H948-7

7. ábra

nyekkel felírható a tekercs szerkezete, amelyre a program kérdez.

Legyen példánk egy olyan tekercs, amelynél 6 V/ford-tal számoltunk.

- 3–5 lábak között 54 menet 324 V
- 11–12 lábak között 22 menet 132 V
- 12–13 lábak között 6 menet 36 V
- 13–14 lábak között 6 menet 36 V
- 14–15 lábak között 23 menet 138 V
- 10–6 lábak között 2 menet 12 V

és 11–12–13–14–15-ös lábak csak leágazások.

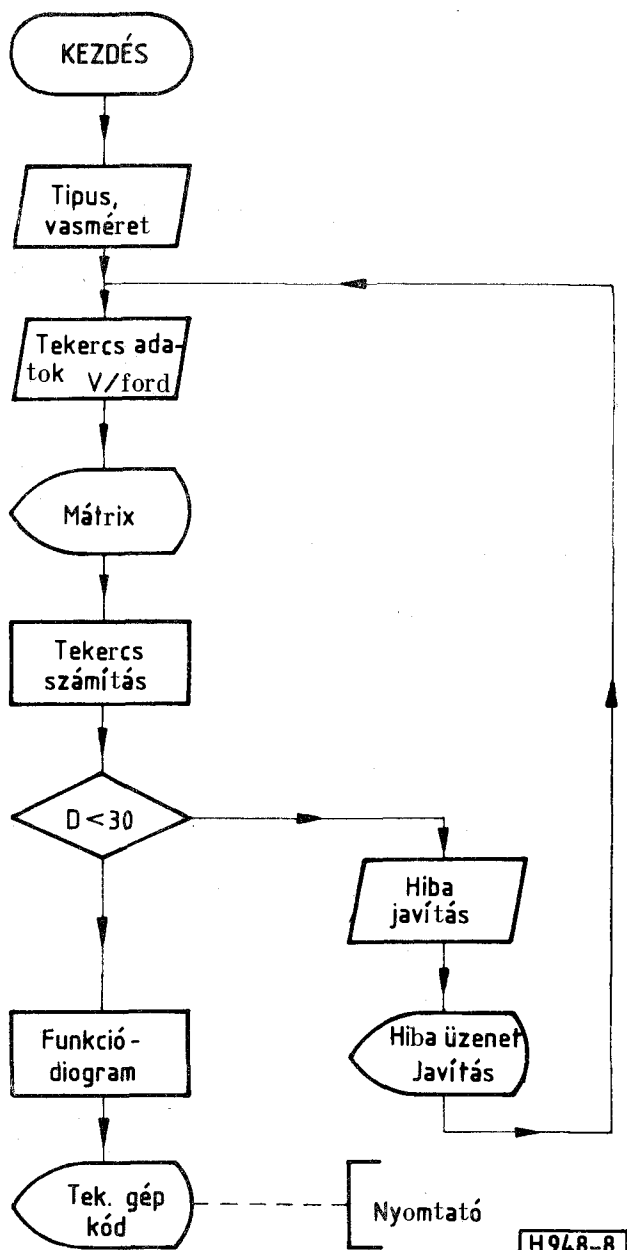
Ha:

- A = tekercskezdet,
- B = menetszám,
- C = tekercs vége,
- D = szigetelő fólia rétegszáma,

akkor a kinyomatott mátrix:

(A)	(B)	(C)	(D)
0	0	0	10
6	2	10	15
15	23	14	0
14	6	13	0
13	6	12	0
12	22	11	15
5	54	3	20
0	0	0	0

A programot tovább futtatva a számítógép ellenőrzi, hogy a bevitt adatokkal mekkora lesz a tekercs átmérője és az elfér-e a vasmagon. Ha például túl nagy átmérőt kapnánk eredményül, akkor a kiindulási V/ford értéket kell növelnünk, természetesen a növekvő áramérték megengedhető határain belül. Ha az átmérő rendben van vagy korrigáltunk, akkor a program tovább lép.



8. ábra

A programba beépített adatok alapján további ellenőrzést végez a számítógép a felhasznált fóliákra és rétegszámaira annak szigetelési tulajdonságaira.

Korrigálási igényt jelez a program vagy az adatok elfogadásával fut tovább.

A program további része GOTO utasításokkal megnézi az elfogadott adatokat és tekercselemenként „elvégzi az alumínium és szigetelőfólia felhordását”. Most már a tekercselő gép funkciódiagramját építi a program és számol az átmérő növekedésével járó korrekciós tényezőkkel is. A program lefutásával a képernyőn megjelenik a 7. ábrán látható tekercsvázlat, a nyomtatón pedig a tekercselőgép kódjai is. Ha elfogadjuk, akkor indítható a gyártás.

Ezzel a számítógépes tervezéssel többfajta transzformátor gépi programja készíthető a megfelelő tekercs program DISC-ről való lehívásával.

A 8. ábra a számítógép algoritmusát mutatja.

Gyártási tapasztalatok

A fóliatranszformátor gyártási rendszerének üzembe állítása egyértelműen igazolt minden várakozást. Soha huzalos tekercseléssel nem volt elérhető olyan homogén jó minőség és kis szórású tömeggyártás, mint a fóliával. Megszűntek a menetzárlat okozta hibák, amelyek leggyakrabban a tekercs végi visszavezetés és a kezdő sorok között keletkeztek. Nincsenek sor-elcsúszások, amelyek a kúszóutakat ellenőrizhetetlenül csökkentették. A fóliatekercs menetsorai között kicsiny a feszültségkülönbség, az elválasztó fólia szigetelési tulajdonsága pedig százszoros biztonságot nyújt átütésre, ezért megbízhatóak a transzformátorok.

A gyártási szórások szűk tartománya a vezérlő áramkörök beállítását is egyszerűsíti, mert kisebb toleranciákra lehet tervezni. A fóliatekercs induktivitása azonos értéken tartható a rézhuzalossal, a kapacitás kismértékű növekedése pedig (vízszintes eltérésnél) a hangolhatóság tartományán belül van.

A zavartalan gyártásban, a magas színvonalú gyártóeszközök működtetésében kiemelkedően fontos szerepe van a felhasznált anyagspecifikációk szigorú tartásának.

A fóliatranszformátor előállítására 15–20%-kal gazdaságosabb a hagyományosnál és a hazai gyártásba vétele jelentős tőkés import megtakarítást eredményezett.