

A ferritmagos parametron alkalmazása nagy biztonságú logikai kapcsolóelemként

ETO 621.375.7:621.377.622.33:667.325.65

Az elektronikus eszközök és kapcsolások utóbbi években tapasztalható fejlődése mindinkább előtérbe állítja azon kérdést is, hogy az elektromechanikus elemeket (jelfogókat) tartalmazó digitális berendezéseket „elektronizálni” kell. A mozgó kontaktust nem tartalmazó kapcsolóelemekre való áttérésnek a szóba kerülő berendezések egy részénél (pl. a telefonközpontoknál) elvi-működési akadályai általában nincsenek. Más esetekben viszont az elektronizálandó készülék feladata, jellege stb. speciális rendeltetésű és működésű logikai kapcsolóelemek kialakítását követeli meg. Ez utóbbiak közé tartoznak többek között azon berendezések, amelyeknek az ún. biztonságtechnikai követelményeket is ki kell elégíteniük, s amelyeket éppen ezért a nagy biztonságú jelzővel szoktak illetni.

A jelen cikk a nagy biztonságú készülékek családján belül is azon berendezéseket tárgyalja, amelyeknél a biztonságtechnikai követelmény jelentése a következő: a készülék bármely elemének, alkatrészének elképzelhető meghibásodása nem járhat olyan következménnyel, hogy a készülék kimenetén nem kívánt elektromos jel (vezérlés) jelenjék meg, mert ez komoly anyagi kár, emberélet veszteség (baleset) bekövetkezését vonhatja maga után. Konkrétan az ipari automatikai, atomerőmű-vezérlési, energiaelosztás irányítási, közúti és vasúti forgalomirányító stb. berendezésekről, illetőleg azok vezérléséről van szó.

Könnyen belátható, hogy a felsorolt esetekben a konvencionális logikai kapurendszerek alkalmazása nem vezet eredményre. Ezeknél ugyanis számtalan olyan meghibásodási lehetőség van, ami hamis — tehát nem a bemeneti feltételeknek és a kapu funkciójának megfelelő — kimeneti jelet eredményezhet. Ha a kérdéses kapcsolási elem nagy megbízhatóságú (e fogalom nem keverendő a nagy biztonságú jelzővel!), úgy ez csak a meghibásodás felléptének a valószínűségét csökkenti, de annak káros következményeit nem hatástalanítja. Nem adja a feladat egyértelmű és teljes értékű megoldását a berendezés szokványos logikai elemekből való, de redundáns felépítése sem (azaz a berendezés megduplázása, megtriplázása stb.). A felmerülő nehézségek közül csupán egyre mutatunk rá, nevezetesen, hogy a csatornák kimeneteit összekapcsoló többségi szavazó (majority vote) szervben is léphet fel a biztonság szempontjából meg nem engedhető meghibásodás, s ezzel a párhuzamos redundancia előnyei elvesznek.

Speciális, a biztonsági követelményeket teljesítő

logikai kapurendszerekre van tehát szükség. Ez teljes analógiában van azzal a ténnyel, hogy ezek elektromechanikus megfelelője egy szintén speciális felépítésű — az ún. első vagy második biztonsági osztályba tartozó — jelfogótípus.

Valamely nagy biztonságú vagy más néven hibabiztos elektronikus kapurendszer kialakításánál azt kell figyelembe venni, hogy a szóba jöhető elektronikus alkatrészek (félvezető, ellenállás, kondenzátor, mágnesmag stb.) milyen meghibásodásai léphetnek fel. Az erre vonatkozó hosszas vizsgálódások [1] azt a megállapítást eredményezték, mely szerint számolni kell az összes alkatrész zárlatával, illetőleg szakadásával, kivéve a következő két esetet:

1. ohmos ellenállásoknál nem kell számolni a két végpont zárlatával, valamint az ellenállás tolerancián kívül eső értékcsökkenésével;
2. vas- és ferritmagos elemeknél (transzformátorok, ferritmagos eszközök stb.) nem kell számolni a különböző — egymással galvanikusan nem kapcsolt — tekercsek közötti zárlat fellépésével, illetőleg egy tekercs kezdet — végzárlatával sem.

A fenti két megállapítás előrejelzi, hogy a nagy biztonságú logikai kapcsolóelemek egyrészt ellenállás-csatolt tranzisztoros áramkörök lehetnek, másrészt célszerűen alkalmazhatók a mágneses eszközöket felhasználó logikai rendszerek. A gyakorlatban mindkettőre találunk példákat; így pl. az AEG cég „Logipuls” nevű rendszere félvezető, a Siemens cég nagy biztonságú logikai rendszere pedig három ütemben dolgozó (beírás — kiolvasás — törlés) ferritmagos rendszer.

Természetesen a számításba veendő hibatípusok vizsgálata és az abból levonható következtetések a nagy biztonságú rendszer megtervezéséhez csak kiindulópontot szolgáltatnak. A tényleges hibabiztonság eléréséhez még további speciális működési és rendszerfelépítési elvek felhasználása szükséges. Ilyen pl. a kapurendszer dinamikus működési módja, azaz, hogy a kimeneti jel szempontjából aggályosnak tekintett logikai igen szintet mindig dinamikus (szinuszos vagy négyszög jelek) képviseljék. A rendszerfelépítés szempontjából a hibabiztos kapurendszer kétféle lehet, úgymint:

1. önellenőrző,
2. ellenőrzött működésű kapurendszer.

Az elsőben a kapu belső meghibásodása a speciális kapcsolás következtében mindig azt vonja maga után, hogy kimenetén (aggályosnak tekintett) logikai igen szint nem jelenhet meg. A másodikban a logikai kapu

vagy esetleg két összetartozó kapu helyes működését egy ellenőrző elem ellenőrzi, s meghibásodás esetén az ellenőrző jel megszűnése akadályozza meg a logikai csatorna kimenetén a nemkívánatos logikai igen szint megjelenését. Természetesen maga az ellenőrző áramkör olyan felépítésű, hogy saját meghibásodását is kijelzi (önellenőrző).

Előnyösen használható fel nagy biztonságú digitális logikai elemként a ferritmagos parametron. Itt — mint a későbbiekben látni fogjuk — ellenőrzött működésű logikai kapcsolóelemeletről van szó. A parametron működési elve és felépítése ugyanis kedvező lehetőséget ad a szintén parametronok segítségével történő működésellenőrzés megvalósítására. Ennek ismertetése előtt azonban a parametron működésének fizikáját kell áttekinteni.

A parametron működésének fizikája

A parametron felépítését tekintve lényegében egy párhuzamos rezgőkör, amelynek valamelyik, az önrézgésszámot meghatározó elemét — tehát az L induktivitás vagy a C kapacitás értékét — periodikusan olyan frekvencia ütemében változtatjuk, amely a rezgőkör rezonancia-frekvenciájának kétszerese. A működést az 1. ábra szemlélteti, ahol a rezgőkör kapacitásának értékét (pl. a fegyverzetek széthúzásával és összetolásával) változtatjuk. A következőkben a működést a kapacitásváltoztatás esetére magyarázzuk, mert ez egyszerűbben szemléltethető [2].

Tételezzük fel, hogy a kör a $t < t_0$ időben valamilyen külső gerjesztés hatására f rezonancia-frekvencián, viszonylag kis amplitúdóval rezeg. A kondenzátor pillanatnyi töltése:

$$Q = Q_0 \sin(2\pi ft). \tag{1}$$

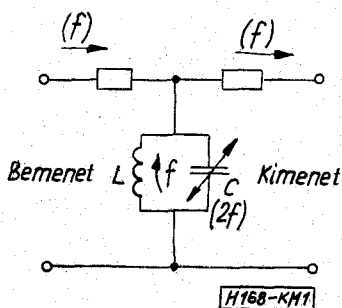
A t_1 időpontban, tehát az egyik feszültségmaximum idején, a kondenzátor energiája:

$$E_{c0} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_0} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2 d_0}{F\varepsilon}, \tag{2}$$

mert $\sin(2\pi ft_1) = 1$,

és ahol: d_0 = a fegyverzetek közötti távolság,
 F = a fegyverzetek hatásos felülete,
 ε = a dielektromos állandó.

Tekintettel arra, hogy a t_1 időpillanatban a rezgőkörben folyó áram értéke nulla, ezért a tekercsnek mágneses tere nincs, s a kondenzátor energiátartalma egyben a rezgőkör összenergiáját adja.



1. ábra

Növeljük meg e t_1 időpillanatban a kondenzátor fegyverzetei közötti d_0 távolságot egy Δd értékkel. Ezáltal a kondenzátor kapacitása $C_0 = \varepsilon F/d_0$ értékről $C_1 = \varepsilon F/(d_0 + \Delta d)$ értékre csökken le. A távolság növeléséhez természetesen akkora mechanikai munka szükséges, ami a fegyverzetek között ható elektrostatikus vonzóerő legyőzésére elegendő. Ez a rendszerbe bevitt külső munka azután mint a kondenzátor megnövekedett energiája jelentkezik, képletben:

$$E_{c1} = E_{c0} + \Delta E = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2 (d_0 + \Delta d)}{F\varepsilon} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_1}. \tag{3}$$

Mivel viszont a kondenzátor Q_0 töltésmennyisége nem változik, ezért az $U = Q/C$ alapképlet értelmében a kisebb értékű kapacitáshoz ugrásszerűen megnövekedett feszültség tartozik (mint ahogy azt a 2. ábra is mutatja).

A kondenzátor feszültségmaximumát követő $t_1 < t \leq t_2$ időszakban a kör teljes energiája az L induktivitásba áramlik át. Így a t_2 időpillanatban a kondenzátor teljesen töltésmentes lesz. Ezt az időpontot használhatjuk fel arra, hogy a kondenzátor fegyverzetei közötti távolságot elméletileg munkavégzés nélkül ismét a kiindulási d_0 -ra csökkentsük le. A t_3 időpillanatban azután — amikor a kondenzátoron a töltés ismét (ellenkező előjelű) szélső értéket vesz fel — a lemezek újlagos széthúzásával megint energia vihető be a rezgőkörbe. Ugyanez érvényes a t_5, t_7, \dots időpillanatokra is, miután a t_4, t_6, \dots időpontokban a lemezeket mindig az eredeti helyükre toljuk vissza.

Az eredeti E_{c0} és a megnövelt E_{c1} energiaértékek viszonyára a t_1 időpillanatban a (2) és (3) összefüggések felhasználásával írható:

$$\frac{E_{c1}}{E_{c0}} = \frac{\frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_1}}{\frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_0}} = \frac{C_0}{C_1}, \tag{4}$$

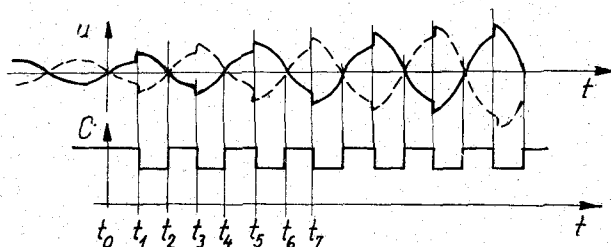
amiből:

$$E_{c1} = E_{c0} \frac{C_0}{C_1} = E_{c0} + \Delta E. \tag{5}$$

A ΔE energianövekedés értéke pedig:

$$\Delta E = E_{c0} \frac{C_0}{C_1} - E_{c0} = E_{c0} \left(\frac{C_0}{C_1} - 1 \right), \frac{C_0}{C_1} > 1. \tag{6}$$

Szavakban kifejezve: az energianövekedés értéke arányos a körben már meglévő energiával. Ez pedig



2. ábra

azt jelenti, hogy a kör energiája — és így kapcsainak feszültsége is — exponenciális függvény szerint fog növekedni. Ehhez persze szükséges az is, hogy mindig nagyobb mennyiségű külső energia álljon rendelkezésre. Az eljárás folytatásával a körben a rezgés amplitúdója természetesen csak addig a határig fokozható, míg a bevitt energia egyenlő nem lesz a körből kivett energia és a veszteségek összegével.

A fentiekkel teljesen analog gondolatmenet érvényes arra a duál esetre is, ha a párhuzamos rezgőkör másik elemének, az L induktivitásnak értékét változtatjuk a kétszeres rezonancia-frekvencia ütemében.

A gyakorlati realizálás során természetesen a paraméterek értékváltoztatását semmi esetre sem lehet mechanikai úton elvégezni. Ezért a párhuzamos rezgőkör egyik tagjaként vagy nemlineáris elemet, vagy vezérelhető reaktanciát kell alkalmazni. Így a gyakorlatban kétféle parametrontípus ismeretes, úgymint:

1. félvezető diódás parametron,
2. ferritmagos parametron.

A diódás parametronokban kapacitásként két félvezető dióda záró irányú kapacitását használjuk fel, amelynek értéke — mint ismeretes — a rákapcsolt feszültség négyzetgyökével fordított arányban változik. A gyakorlatban e célra konkrétan az ún. varaktor diódákat használják, s az ilyen parametronok mint feszültség erősítők kerülnek alkalmazásra.

A ferritmagos parametron változtatható induktivitásként olyan tekercseket használ fel, amelyek egyenárammal előmágnesezett ferritmagra vannak tekercselve. A ferromágneses anyagok azon tulajdonságát használjuk ki, hogy permeabilitásuk a mágneses térerősség függvénye. A legegyszerűbb ferritmagos parametron vázlatos képét a 3. ábra mutatja. A rezgőkörben levő két ferritmag permeabilitása a $2f$ frekvenciájú gerjesztő áram függvényében változik. A váltakozó áramú gerjesztést adó generátorral sorba kapcsolt egyenáramú előfeszítő telep feladata a ferritmag hiszterézisgörbéjén a megfelelő munkapont beállítása.

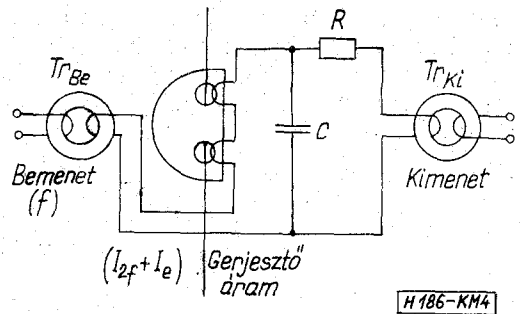
A ferritmagos parametronok működésének pontos matematikai analízise a bennük szereplő elemek nemlineáris tulajdonságai miatt igen nehéz. Bizonyos egyszerűsítő feltételezésekkel a körben folyó áram az ún.

Hill-, illetőleg Mathieu-féle differenciálegyenletekkel írható le, ezeket itt nem kívánjuk tárgyalni.

A 3. ábra parametron kapcsolásában láthatóan változtatható induktivitásként két ferritmagot használtunk fel. Az ilyen ellenütemű kapcsolásnak az előnye kettős, úgymint:

- a) a két (soros) gerjesztőtekerccs az egyes magokon keresztül ellentétes értelemben csatlakozik a párhuzamos rezgőkörhöz, így a $2f$ frekvenciájú jel nem kerül át abba;
- b) a két részre osztott induktivitás következtében a pillanatnyi eredő induktivitásérték kevésbé függ a rezgőkör f frekvenciájú áramától, mivel a két tekerccs induktivitása mindig ellenkező értelemben (de nem egyenlő mértékben) változik. Ezáltal az f frekvenciájú jel stabilabb és kevésbé torzított lesz.

A gyakorlatban a két rezgőköri mag helyett egy kétlyukú, ún. binokuláris típusú mag alkalmazása a szokásos, mint azt a 4. ábra mutatja. Itt a 3. ábrától



4. ábra

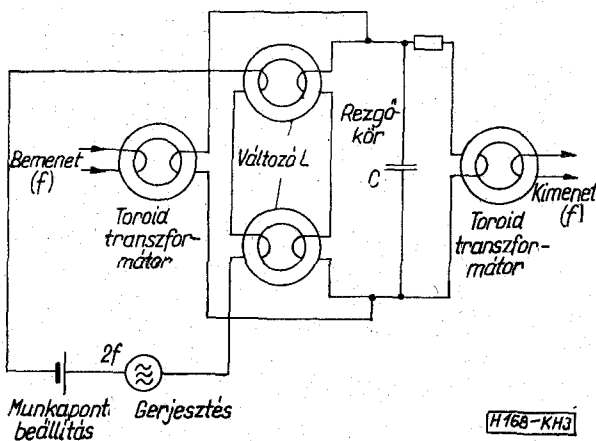
eltérően a bemeneti jelet sorosan tápláljuk a rezgőkörbe. Az R ellenállás és a Tr_{Ki} transzformátor az f frekvenciájú jel kicsatolására szolgál, R -rel állítjuk be a legkedvezőbb értékű csillapítást. A gerjesztő áramot itt is a $2f$ frekvenciájú váltakozó áram és a már említett egyenáram szuperponáltja adja. Megjegyzendő, hogy a gyakorlatban egy parametronhoz lényegében csak egy csatoló (ferritmagos) transzformátor tartozik, mivel a kimeneti csatoló elem egyben a következő parametron bemeneti elemét is alkotja.

A ferritmagos parametron mint logikai kapcsolóelem

A parametronok alkalmazási területeiket tekintve három fő csoportra oszthatók, úgymint:

1. erősítő elemként való alkalmazás. Ezek főleg a mikrohullámú technika félvezető diódás és vékony mágnesréteges parametronai;
2. információátvivő- és tárolóelemként való alkalmazás számítógépekben (pl. léptető-regiszterek, tárolómátrixok);
3. logikai kapcsolóelemként való alkalmazás számítógépekben és digitális automatai berendezésekben.

Az utolsó két alkalmazás különösen Japánban jelentős, ahol az elmúlt évtizedben nagy számban építettek ferritmagos parametronokkal üzemelő számítógépeket és automatikai berendezéseket.



3. ábra

A következőkben a parametronos logikai kapucapcsolások jellemző tulajdonságait tekintjük át [3].

A parametron előző fejezetben leírt működési módjából következik, hogy a párhuzamos rezgőkör kimenetén ugyanazon gerjesztő jelalak esetén két diszkrét, egymáshoz képest 180° -kal eltérő fázishelyzetű rezgés léphet fel attól függően, hogy a gerjesztő frekvencia bekapcsolása pillanatában a kör bemeneti jele milyen fázishelyzetet foglalt el (lásd a 2. ábrán a folytonos és szaggatott vonallal rajzolt kimeneti jelalakokat). Ez a jelenség, tehát a két különböző fázishelyzetű jel — azaz két váltakozó feszültség, amely egymástól π fáziszöggel tér el, s így értékük minden időpillanatban ellenkező előjelű — használható fel a bináris 0 és 1 értékek reprezentálására. Megállapodás kérdése, hogy valamely szinten f frekvenciájú és nem változó fázishelyzetű referenciajelhez viszonyítva az ugyanazon vagy az ellentétes fázishelyzetű parametronfeszültséget tekintjük-e logikai 1 értéknek. A fentiek egyben azt is jelentik, hogy a parametronnál mind a logikai igen, mind a logikai nem szintnek váltakozó feszültség felel meg, a feszültség hiánya mint logikai szint nem értelmezett.

A két logikai szint fentiekben megadott determináltsága már lényegében megadja, hogy a parametronnal az ún. többségi logikai összegezés (addíció) valósítható meg. Ha egy parametron bemenetére páratlan számú azonos nagyságú, de fázishelyzetben egyező, illetőleg ellenkező jelet kapcsolunk, akkor az eredő bemeneti jel, s így a kimeneti jel előjele, valamint fázisa a bemeneti jelek többségének algebrai előjelével és fázishelyzetével fog egyezni.

A többségi logikák közismert hátránya, hogy a bemenetek számát a jelamplitúdó-toleranciákkal kapcsolatos problémák korlátozzák. Így a parametron esetében is, bár laboratóriumi szinten lehetséges volt kilenc bemenetű kapukat készíteni, a gyakorlatban mégis csak három (esetleg öt) bemenetű kapuk realizálhatók. Tovább korlátozza a bemenetek számát, hogy a három bemenet közül egy ún. konstans feszültségűt a kaputípus jellegének meghatározására kell fenntartani.

Az 5. ábra a két változó bemenetű parametronos **ÉS**, illetőleg **VAGY** kapuk kapcsolását mutatja. A jelen esetben logikai nem értéknek a referenciajellel megegyező fázisú jelet tekintjük.

Az állandó értékű bemenetre konstans logikai nem értéket kapcsolva a bemutatott kapcsolás a logikai

ÉS kapcsolatot, a konjunkciót valósítja meg. Ha ellenben az állandó értékű bemenetre logikai igen szintet kapcsolunk, úgy a kapcsolás a logikai **VAGY** műveletet, a diszjunkciót fogja realizálni. Az első esetben ugyanis mindkét bemenet igen szintje szükséges ahhoz, hogy a parametron az igen szintnek megfelelő fázisban rezgjen, a második esetben pedig már egy bemenet igen szintje a konstans bemenet igen szintjével együtt biztosítja a kimenet logikai igen értékét.

A negáció (komplementáció) művelete rendkívül egyszerűen megvalósítható a konstans bemenet nélküli és csak egy változó bemenettel rendelkező parametron segítségével, amennyiben a bemeneti vagy kimeneti csatlótekercesek megfelelő (fordított) bekötésével egyszerűen 180° -os fázisforgatást végzünk. Egyébként megjegyzendő, hogy a parametron — egyéb helyeken erősítőként használva — nem végez inverziót, azaz a bemeneti és kimeneti jel egymással fázisban van.

A három alkapu segítségével (a legtöbbször egy három munkaütemű rendszerben) megépíthetők a digitális technika szokásos alkapcsolásai, a flip-flopok, regiszterek, összeadó kapcsolások, de ezek tárgyalásába itt nem kívánunk belemenni.

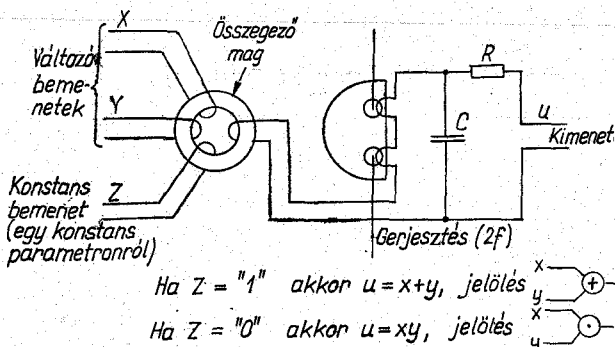
A parametronos logikai rendszer előnyei: a nagy működési megbízhatóság, hosszú élettartam, zavarérzéktelenség és a viszonylag alacsony ár. Hátrányként említendő a kis kapcsolási sebesség (számítási sebesség maximum $3 \cdot 10^5$ Hz), s emiatt gyors működésű számítógépekben alkalmazása korlátozott.

A nagy biztonságú parametronos logikai kapcsolóelem

Az előző fejezetben röviden vázolt parametronos logikai rendszer számos speciális, a megszokottól eltérő tulajdonsága ellenére még nem képez nagy biztonságú rendszert. A következőkben azon kapcsolási kiegészítéseket kívánjuk bemutatni, amelyek révén a kapurendszer a biztonsági kritériumok teljesítésére alkalmassá válik.

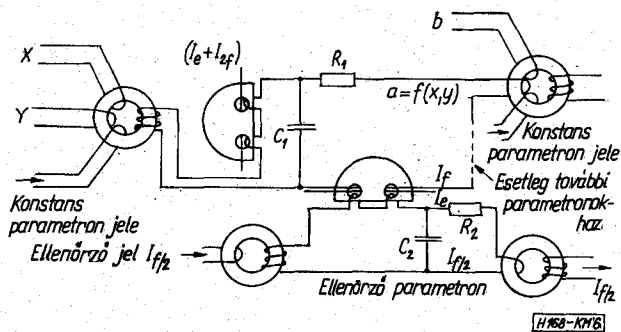
A parametron nagy biztonságú kapcsolóelemként való alkalmazási lehetősége azon a tulajdonságán alapul, hogy itt az információt nem a mágnesmag — esetleg zavar következtében éppen hibás — statikus mágnesezettségi állapota határozza meg, hanem azt egy dinamikus s a környezeti zavaró hatásokkal szemben gyakorlatilag érzéketlen rezgési folyamat képviseli. A parametron bármely belső meghibásodása esetén a parametronkörhöz a rezgés megszűnik, aminek detektálása révén a meghibásodás azonnal felderíthető. Ehhez természetesen megfelelő működésellenőrző áramköri részek szükségesek, s ebből következik az a bevezető fejezetben már megemlített tény is, hogy a nagy biztonságú parametronos logikai rendszer az ún. ellenőrzött működésű logikai rendszerek családjába tartozik [4].

Magának a parametronnak a működését a legegyszerűbben így ellenőrizhetjük, hogy a parametron kimenetén az f frekvenciájú szinuszrezgés jelenlétét figyeljük. A logikai kapcsolóelemként használt parametron bemeneti jeleinek a meglétét is ellenőriznünk kell. Ugyanis pl. ha az 5. ábra parametron-kapcsolásában az összegező ferritmagra csatlakozó bármely bemeneti tekerces elszakad, úgy a parametron bizonyos

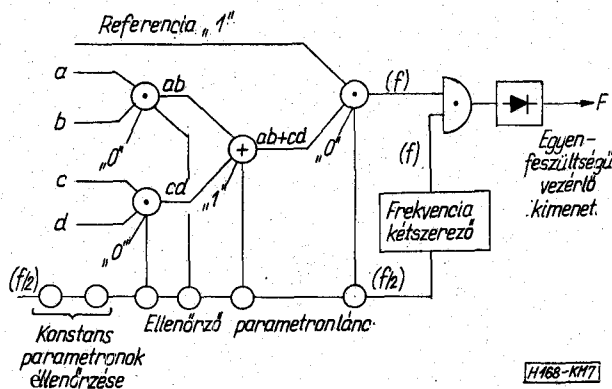


H 168-KM5

5. ábra



6. ábra



7. ábra

bemeneti jelkombinációk esetén eredeti funkciójának nem megfelelő, hamis jelet ad ki.

Tekintve, hogy valamely parametron kimenete közvetlenül csatlakozik a következő parametron bemenetére, ezért egyetlen ellenőrző elemmel megvalósíthatjuk a parametron kimenetének, illetőleg a következő parametron egyik bemenetének az ellenőrzését. A kapcsolást a 6. ábra mutatja.

A 6. ábrán látható kapcsolás kimeneti körébe helyeztük el az ellenőrző parametron oly módon, hogy a kimeneti f frekvenciájú áram az ellenőrző parametron gerjesztését szolgáltatja. Az ellenőrző parametronba még egy huzalt kellett befűzni, amelybe egyenáramot vezetünk a munkapont beállítása céljából. Az ellenőrző parametron bemenetére $f/2$ frekvenciájú jelet kapcsolva, az megjelenik a kimeneten, ha az ellenőrzött és ellenőrző parametron hibátlanul működik. Az ellenőrző parametron logikai funkciót nem végez, csak az ellenőrző jelet átengedi, avagy nem.

Láttuk, hogy minden logikai funkciót végző parametron (a negátor kivételével) három bemenete közül az egyik egy ún. konstans parametronra csatla-

kozik, amelynek jele határozza meg a kapu típusát. Egy ilyen konstans parametron általában 10–20 logikai parametronkaput tud kiszolgálni (egy parametron „fan out” értéke tehát 10–20 között van). Természetesen ennek a konstans parametronnak a működését is ellenőrizni kell. Ez tehát azt jelenti, hogy az ellenőrző parametronok száma megegyezik a logikai csatorna működéséhez szükséges parametronok számával. Első pillantásra ez a rendszerre nézve igen hátrányos tulajdonságnak tűnhet, de a gyakorlatban megvalósított berendezések azt mutatják [4], hogy ár, helyszükséglet, karbantartás stb. szempontjából elfogadható e megoldás.

A 7. ábra az $F = ab + cd$ függvényt megvalósító logikai kapcsolás szimbolikus képét mutatja. Látható, hogy a logikai rész kimeneti jelét a logikai 1 referencia jellel vetjük össze egy (szintén parametronos) ÉS kapu segítségével. Az ellenőrző parametronokat, beleértve a logikai 1 és logikai 0 konstans parametronok ellenőrzését is, láncszerűen fűzzük fel, s a lánc elejére adjuk az $f/2$ frekvenciájú ellenőrző jelet. A rendszer hibátlan üzeme esetén ez megjelenik az ellenőrző lánc végén, és a vezérlő kimenetet aktiválja, ha a logikai rész kimenete is igen szinten van. A kimeneti ÉS kapu egy hibabiztos kapcsolású, pl. ellenállás-csatolású kapu lehet. Ennek működéséhez természetesen az ellenőrző láncról érkező $f/2$ frekvenciájú jelen frekvenciaduplázást kell végezni.

Megjegyezzük, hogy a logikai rendszerekben használatos lassú működésű parametronok f üzemi frekvenciája 50–150 kHz között van. A logikai rendszer előnye, hogy a parametron nagy szuperregeneratív erősítése következtében az egyes kapuk közé erősítő, illetőleg jelformáló tagokat nem kell beiktatni.

A rendszerhez természetesen előfeszítő áramforrások, gerjesztő generátorok, statikus-dinamikus jelátalakító parametronos bemeneti kapcsolások stb. tartoznak, amelyek feladata a rendszerint egyenfeszültség szinten rendelkezésre álló bemeneti feltételeknek a parametronos logikai kapuk számára feloldozhatóvá tétele.

I R O D A L O M

[1] Frech, G.: Elektronik in der Eisenbahnsignaltechnik. SEL-Nachrichten, 15. Jg. (1967) Heft 1. S. 34–40
 [2] Billig, H.—Rüdiger, A.: Das Parametron. Taschenbuch Nachrichtenverarbeitung, Springer-Verlag 1961, S. 510–521
 [3] Gotto, E.: The Parametron, a Digital Computing Element which Utilizes Parametric Oscillation. Proceedings of the IRE, pp. 1304–1316
 [4] Okumara—Watanabe: Elektronische Verschlusseinrichtung unter Steuerung durch einen Digitalrechner. Monatschrift der IEKV, Juni-Juli 1969, S. 283–291