

A mintavételező áramkör mint fázisdetektor

ETO 621.376.56-621.376.4

A lineáris integrált áramkörök egyik érdekes és fontos típusa a mintavevő-tartó áramkör (sample and hold, S/H) [1], [2]. Az áramkör alapvető funkcionális tulajdonsága, hogy analóg jeltárolóként működik, a bemenetre adott jel meghatározott pillanatértékeit tárolja. Az áramkör kimenetén ez a tárolt jel-érték jelenik meg. Az 1. ábra vázolata szerint a mintavevő áramkörnek két bemenete van: egy U_a analóg jel-bemenet és egy U_v mintavételező bemenet. Az U_v mintavételező bemenetre tüimpulzusok sorozatát kell adni. Az analóg jeltároló az $U_a(t)$ analóg jel azon pillanatértékeit tárolja, amelyek az analógjel-bemeneten a tüimpulzusok beérkezésének pillanataiban mérhetők. A tüimpulzusok beérkezésének pillanatait mintavételezési időpontoknak nevezzük. A mintavevő áramkör U_k kimenetén az analóg jelnek egy mintavételezési időpillanatban felvett értéke mérhető mint állandó feszültségérték. Ez a feszültség-szint meg is marad egészen a következő mintavételezési időpontig. Az újabb mintavétel alkalmával a kimenetre az analóg bemenő jel újabb pillanatértéke kerül. A mintavételezési-tárolási folyamat így halad tovább mintavételről mintavételre.

Mint az 1. ábra is mutatja, nem szükséges, hogy az analóg bemenetre adandó $U_a(t)$ időfüggvény, valamint az $U_v(t)$ mintavételező tüimpulzus-sorozat periodikus legyen. Az áramköri folyamat e periodicitás nélkül is zavartalan. A legtöbb gyakorlati alkalmazásban azonban legalább az egyik bemenő jel periodikus. Vizsgálataink során az $U_a(t)$ analóg bemenő jel — amiből a mintákat vesszük — mindig periodikus lesz. Az $U_v(t)$ mintavételező jel vizsgálataink első felében szintén legyen periodikus.

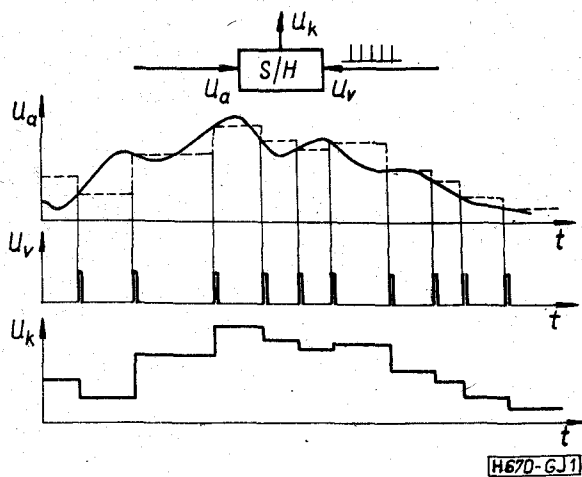
A mintavételezett jelek idő- és fázisviszonyai

Milyen lesz az $U_k(t)$ kimenő jel, ha az $U_a(t)$ analóg bemenő jel és az $U_v(t)$ mintavételező jel egyaránt periodikus, de frekvenciájuk — és periódusidejük — csak kevéssé tér el egymástól? A 2. ábra szerint az $U_a(t)$ analóg jel periódusideje legyen T_a , az $U_v(t)$ mintavételező jel periódusideje pedig T_v . A két jel periódusideje között a ΔT periódusidő-eltérés legyen csekély:

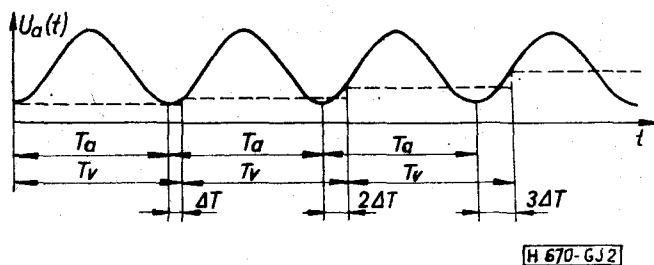
$$\Delta T = T_v - T_a = T_a \left(\frac{T_v}{T_a} - 1 \right) \quad (1)$$

$$\left| \frac{T_v}{T_a} - 1 \right| \ll 1.$$

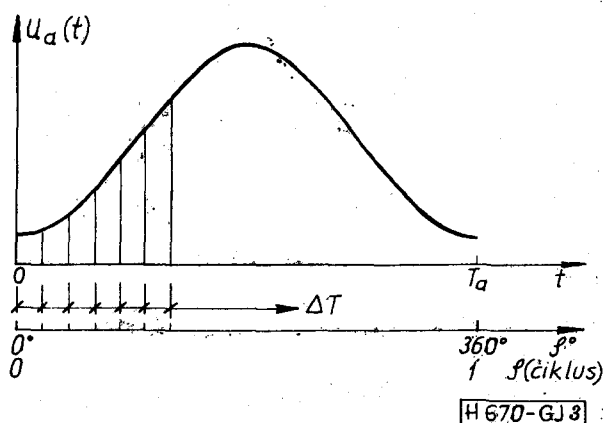
A 2. ábrából láthatóan a mintavétel helye ciklusról ciklusra tovább tolódik, mégpedig ΔT periódusidő-eltéréssel. Mivel az $U_a(t)$ jel periodikus, vizsgálhatjuk



1. ábra



2. ábra



3. ábra

$U_a(t)$ egyetlen ciklusát is (3. ábra). Azt tapasztaljuk, hogy a jelalakból periódusonként ΔT eltolódással veszünk mintákat, hiszen a T_v idejű mintavétel folyamatosan csúszik a T_a periódusidőhöz képest. Ilyen módon a mintavételezési folyamat során az $U_a(t)$ analóg jelből sorra mintákat veszünk és ezáltal a jel egyetlen lefutását (ciklusát) is végigtapo-

gatjuk. Egyetlen T_a tartamú cikluson belül egyetlen mintavétel történik, és a periodikus jelciklus jelalakját $n = |T_a/\Delta T|$ számú mintavétel tapogatja végig. A jelciklus letapogatásának ideje:

$$T_k = T_a n = |T_a^2/\Delta T|.$$

Az egymást követő mintavető jelek az $U_a(t)$ jelből $\nabla\varphi$ sorozatos fázistolással vesznek mintát.

$$\nabla\varphi = \frac{\Delta T}{T_a} \quad (\text{ciklus szögességben}).$$

(1) felhasználásával:

$$\nabla\varphi = \frac{\Delta T_v}{T_a} - 1. \quad (2)$$

Frekvenciákkal kifejezve:

$$f_a = \frac{1}{T_a}, \quad f_v = \frac{1}{T_v},$$

$$\nabla\varphi = \frac{f_a}{f_v} - 1, \quad (3)$$

(3) kis átalakításával érdekes és fontos összefüggésre jutunk. f_a és f_v között az eltérés legyen Δf_v :

$$\Delta f_v = f_a - f_v. \quad (4)$$

$\nabla\varphi$ mintavételi fázistolás Δf_v -vel kifejezve:

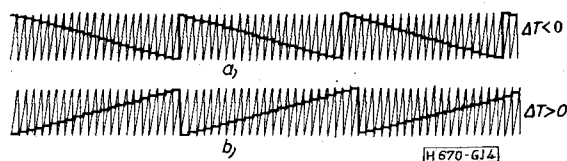
$$\nabla\varphi = -\frac{\Delta f_v}{f_v}. \quad (5)$$

A mintavételi fázistolás nagysága tehát attól függ, mennyivel tér el a mintavételi f_v frekvencia az egyensúlyi f_a értéktől. Ha az eltérés pozitív előjelű, vagyis $f_v > f_a$, akkor $\nabla\varphi < 0$ (4a ábra). Jelen esetben az egyensúlyi állapotnál sűrűbbek lesznek a mintavételek. Fordítva, ha a mintavételi frekvencia kisebb az egyensúlyi frekvenciánál, azaz $f_v < f_a$, úgy $\nabla\varphi > 0$. Ilyenkor ritkábban történnek mintavételek, mint egyensúly esetén (4b ábra).

A letapogatással nyert $U_k(t)$ mintavételezett jel alakja megfelel az $U_a(t)$ analóg jel alakjának, azonban a mintavételezési eljárás az $U_a(t)$ periodikus jelet egy n -szeresére megnövelt periódusidejű $U_k(t)$ jelbe viszi át (4b ábra). Ez az alapja a jól ismert mintavételes oszcilloszkópiának. Megjegyzendő, hogy amennyiben $T_a > T_v$, akkor az (1) összefüggés szerint $\Delta T < 0$, vagyis negatív. Ilyenkor a leképzés során az eredeti jel tükörképét, vagyis az $U_a(-t)$ jel időbeli széthúzását nyerjük (4a ábra).

A letapogatás során nyert $U_k(t)$ jel T_k periódusidejéből a frekvencia is kiszámítható:

$$f_k = \frac{1}{T_k} = \frac{1}{T_a n} = \frac{|\Delta T|}{T_a^2} = \frac{|T_v - T_a|}{T_a^2} = \frac{1}{T_a} \left| \frac{T_v}{T_a} - 1 \right|.$$



4. ábra

Frekvenciákkal felírva:

$$f_k = f_a \left| \frac{f_a}{f_v} - 1 \right| = \frac{f_a}{f_v} |f_a - f_v|. \quad (6)$$

A (6) összefüggés olyan alkalmazásainál, ahol $f_a \approx f_v$, az összefüggés második tagja domináns jelentőséget nyer:

$$f_k \approx |f_a - f_v|$$

Ez arra utal, hogy a mintavételező áramkör a keverő áramkörökhöz hasonlóan a bemenő jelek frekvenciáinak különbségét képezi. A keverőkkel szemben viszont azt a többletet is nyújtja, hogy a lekevert jel megőrzi az egyik bemeneti jelnek, $U_a(t)$ -nek a jelalakját. Ilyen módon a mintavételező áramkör gyakran alkalmazható optimális megoldásként olyan célokra, amelyekre egyszerű keverő is megfelel (pl. fázisdetektorként). A keverővel szemben a mintavető áramkörnek van olyan szabad paramétere, ami az adott feladathoz optimalizálási lehetőséget kínál. Ez a szabad paraméter az $U_a(t)$ analóg bemenő jel jelalakja.

Keverő mint fázisdetektor

Jelen cikkben azt kívánjuk megvizsgálni, hogyan használható fel a mintavételező áramkör fázisdetektorként. A fázisdetektorok nagyon elterjedt hagyományos megoldási módjának alapeleme a keverő. A keverőnek fázisdetektorként lehetséges alkalmazása jól ismert.

A keverő mindig nemlineáris átviteli karakterisztikáját feltételezzük négyzetesnek. E nemlineáris elemre adjunk két szinuszos lefutású jelet, $U_a(t) - t$ és $U_v(t) - t$.

$$U_a(t) = U_a \sin \varphi_a(t), \quad \varphi_a(t) = \omega_a t + \varphi_{a0},$$

$$U_v(t) = U_v \sin \varphi_v(t), \quad \varphi_v(t) = \omega_v t + \varphi_{v0}.$$

A keverő kimenetén $U_x(t)$ jel képződik:

$$U_x(t) = k(U_a(t) + U_v(t))^2 \quad (7)$$

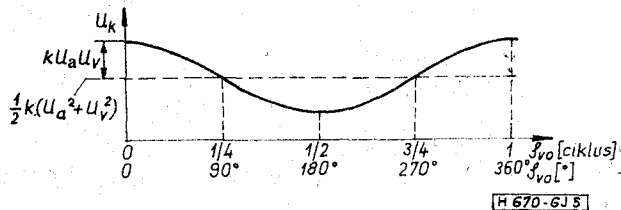
Amennyiben a keverőt aluláteresztő szűrő követi, ami az ω_v , ω_a és az ennél nagyobb összefrekvenciás komponenseket kiszűri, úgy az aluláteresztő szűrőt követően csak a különbségi frekvenciás tagok és az egyenkomponens jelenik meg. Ezek alkotják az $U_k(t)$ eredő jelet:

$$U_k(t) = \frac{1}{2} k(U_a^2 + U_v^2) + U_a U_v k \cos [(\omega_a - \omega_v)t + \varphi_{a0} - \varphi_{v0}]. \quad (8)$$

Ha a keverőre jutó $U_a(t)$ és $U_v(t)$ jelek frekvenciája azonos, vagyis

$$\omega_a = \omega_v,$$

akkor a kimenő feszültség a bemenő jelek amplitúdóin kívül csakis e jelek fáziskülönbségétől függ. Ez esetben tehát a keverő és az azt követő aluláteresztő szűrő együttesen fázisdetektort alkotnak. Az általánosság megszorítása nélkül vegyük φ_{a0} fázishely-



5. ábra

zetet a referenciahelyzetnek, amelyhez képest az $U_v(t)$ jel φ_{v0} fázisát mérjük:

$$\varphi_{a0} = 0.$$

Ezzel eljutunk a keverős fázisdetektor leíró egyenletéhez:

$$U_k(t) = \frac{1}{2} k(U_a^2 + U_v^2) + U_a U_v k \cos \varphi_{v0}. \quad (9)$$

A (9) egyenlet alapján a fázis-jelszint viszonyokat az 5. ábra szemlélteti.

Az ábra szerint a fázisdetektor vagy 90° , vagy 270° (-90°) környezetében használható, mintegy $\pm 60^\circ$ átfogási tartományban, de ebben a viszonylag szűk fázis-tartományban is jelentős a karakterisztika nemlinearitása.

Mintavételező fázisdetektor

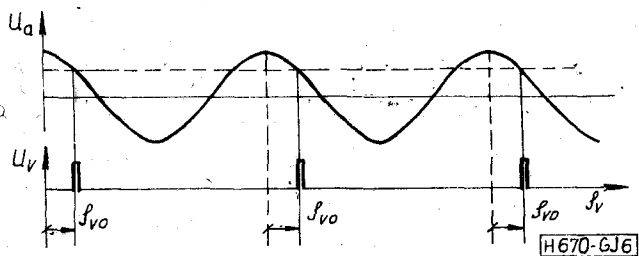
Az 5. ábrán látható fázisdetektor-karakterisztika nem csupán keverő és szűrő együttesével, hanem mintavételező-tartó áramkörrel is megvalósítható. Legyen az analóg bemenetre adott jel koszinusz alakú:

$$U_a(t) = U_a \cos \omega_a t.$$

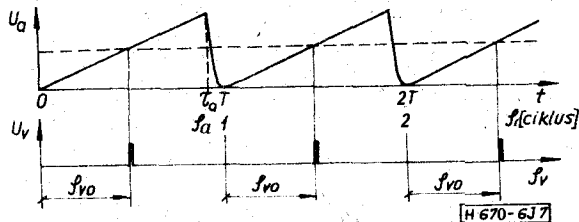
Amennyiben a mintavételező bemenetre adott impulzussorozat ω_v frekvenciája megegyezik az analóg jel frekvenciájával, vagyis $\omega_v = \omega_a$, akkor a mintavett U_k feszültség egyenlei lesz, hiszen az analóg jelnek mindig ugyanannál a fázishelyzeténél történik mintavétel. A mintavett egyenfeszültség értéke csakis az impulzussorozat és az a analóg jel kölcsönös viszonyától – tehát a fázisszögtől – függ (6. ábra):

$$U_k = U_a \cos \varphi_{v0}. \quad (10)$$

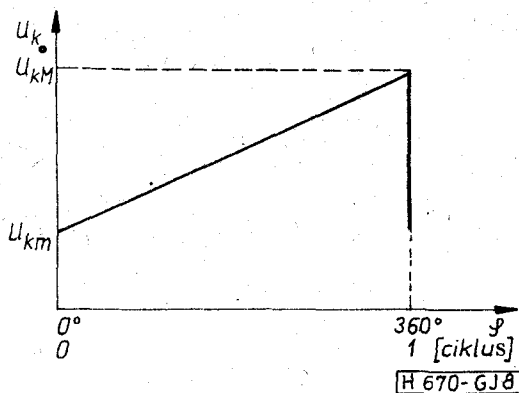
A mintavételező áramkör tehát fázisdetektorként működik. Tulajdonságai lényegében megegyeznek a keverős fázisdetektor tulajdonságaival, mégpedig olyan mértékben, amennyire a (10) összefüggés (9)-hez hasonlít. Szembetűnő eltérés: a mintavételezővel megvalósított fázisdetektornál a kimenő jel nem függ az U_v mintavételező feszültség amplitúdójától. A (10)



6. ábra



7. ábra



8. ábra

tehat kedvezőbb fázisdetektor-karakterisztikát ír le, mint a (9) összefüggés.

Ha mintavételező áramkört alkalmazunk fázisdetektorként, akkor az $U_a(t)$ analóg jelalak kedvező megválasztásával még a (10) összefüggés által leírtól is lényegesen kedvezőbb fázisdetektor-karakterisztikát nyerhetünk. Legyen az $U_a(t)$ jelalak a 7. ábra szerinti. Legyen tehát az analóg jel a teljes periódus nagyobb részében monoton növekvő, lineáris, visszafutása pedig a teljes periódusidőnek csak csekély hányadát vegye igénybe. Ennek a jelnek a mintavételezése által lineáris fázisdetektort nyerünk $0 \dots \varphi_a$ linearitási tartománnyal. Amennyiben φ_a jól megközelíti a 360° -ot, vagyis a visszafutás ideje elhanyagolható, ideális lineáris fázisdetektorhoz jutunk (8. ábra). Ez az idealizálás kedvező számítási modellt ad fázisdetektort tartalmazó áramkörök értékeléséhez.

A 8. ábra szerint, miközben az U_v referenciaoldali jel fázisszöge 0° -tól 360° -ig (0 -tól 1 ciklus szögegységig) változik, a kimenő egyenfeszültség egy U_{km} minimális értéktől egy U_{km} maximális értékig növekszik a (11) egyenlet szerint:

$$U_k(\varphi) = U_{km} + (U_{km} - U_{km})\varphi. \quad (11)$$

A kimenő feszültség tehát a fázisszög lineáris függvénye. A φ fázisszög ciklus szögegységben mérendő a $\varphi = 0 \dots 1$ tartományban.

VCO vezérlése mintavételező fázisdetektorral

A következőkben megvizsgáljuk annak a fáziszinkronizált körnek a működését, amely mintavételező fázisdetektort tartalmaz. A fázisdetektor karakterisztikája legyen lineáris, tehát működését írja le a (11) összefüggés!

Fáziszinkronizált körökben a fázisdetektor egy illesztő közvetítésével feszültségvezérelt oszcillátor-

hoz (VCO, voltage controlled oscillator) csatlakozik (9. ábra). Leíró modellünkben az illesztő erősítőt is foglalja magába a mintavevő áramkör. Legyen tehát a fázisdetektor és az illesztő erősítő együttesének leíró összefüggése a (11) egyenlet.

A VCO a bemenetére adott $U_k(t)$ feszültség hatására $f_k(t)$ frekvenciájú rezgést ad ki. A VCO karakterisztikája legyen lineáris:

$$f_k = \frac{f_{kM} - f_{km}}{U_{kM} - U_{km}} U_k - \frac{f_{kM} - f_{km}}{U_{kM} - U_{km}} U_{km} + f_{km}. \quad (12)$$

(12)-ben $f_{kM} = f_k(U_{kM}) = f_k(\varphi = 1)$,

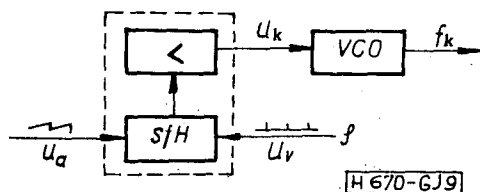
$f_{km} = f_k(U_{km}) = f_k(\varphi = 0)$,

tehát f_{kM} a maximális, f_{km} pedig a minimális fázishelyzethez tartozó maximális, ill. minimális frekvencia.

A 9. ábra szerinti rész-rendszerben a kimeneti f_k frekvencia természetesen kifejezhető közvetlenül a bemenő φ fázisadattól, az U_k közbenső mennyiség kiküszöbölésével:

$$f_k = (f_{kM} - f_{km})\varphi + f_{km}. \quad (13)$$

A kimeneti frekvencia a bemenő jel fázisszögének lineáris függvénye.



9. ábra

A fáziszárt hurok F_k frekvenciaviszony-paramétere

Amennyiben a fázisdetektor és a VCO fázisszinkronizált körben vannak összekapcsolva, úgy lehetőség van hurokegyensúlyi helyzet kialakulására. Hurokegyensúly esetén az egyensúlyi fázisszögét jelöljük φ_0 -val, φ_0 egyensúlyi fázisszög hatására a VCO kimenetén létrejött egyensúlyi frekvenciát jelöljük f_{k0} -val. A nem egyensúlyi φ fázishelyzet az egyensúlytól való $\Delta\varphi$ -vel való eltérésként fogható fel. Hasonló módon Δf_k a VCO frekvencia eltérése az egyensúlyi állapottól.

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi, \quad (14)$$

$$f_k = f_{k0} + \Delta f_k. \quad (15)$$

Helyettesítsük (14)-et a fázis-frekvencia összefüggést leíró (13) egyenletbe:

$$f_k = (f_{kM} - f_{km})\varphi_0 + f_{km} + (f_{kM} - f_{km})\Delta\varphi.$$

Mivel egyensúlyi állapotban

$$f_{k0} = (f_{kM} - f_{km})\varphi_0 + f_{km},$$

azért (15) felhasználásával

$$\Delta f_k = (f_{kM} - f_{km})\Delta\varphi,$$

$$f_k = f_{k0} + \Delta f_k = f_{k0} + (f_{kM} - f_{km})\Delta\varphi.$$

f_{k0} kiemelésével:

$$f_k = f_{k0} \left[1 + \frac{f_{kM} - f_{km}}{f_{k0}} \Delta\varphi \right]. \quad (16)$$

Jelöljük a (16) kifejezésben $\Delta\varphi$ együtthatóját F_k -val:

$$F_k = \frac{f_{kM} - f_{km}}{f_{k0}}. \quad (17)$$

F_k a mintavételező fáziszárt hurok analízise során fellépő alapvető jelentőségű hurokjellemző. Fontossága miatt külön elnevezést is kapott: frekvenciaviszony, és a VCO frekvenciaátfogásának az egyensúlyi frekvenciához való viszonyát jelöli. (17) szerint F_k visszahelyettesíthető (16)-ba:

$$f_k = f_{k0}(1 + F_k\Delta\varphi). \quad (18)$$

Érdeemes felfigyelni arra, hogy egyensúly esetén

$$\Delta\varphi = 0 \quad \text{és} \quad f_k = f_{k0}.$$

Megjegyzendő még, hogy f_{k0} egyensúlyi frekvencia mindig az f_{km} minimális és f_{kM} maximális frekvencia között helyezkedik el, azaz

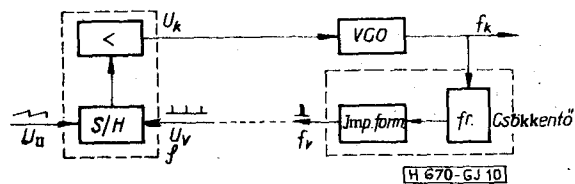
$$f_{km} < f_{k0} < f_{kM}.$$

(17) viszonyaiból adódóan F_k mindig pozitív.

A fáziszárt hurok kialakítása

A fáziszárt hurok kialakításához a VCO kimeneti, f_k frekvenciájú jelét vissza kell vezetni a fázisdetektor mintavételező bemenetére. Amennyiben az f_{k0} egyensúlyi VCO frekvencia éppen megegyezik a fázisdetektor U_a jelének, tehát referenciájának f_a frekvenciájával, ez a visszacsatolás nem is jelenthet nehézséget. Ha azonban nem áll fenn egyezés, frekvencia-transzpozíciót kell alkalmazni. Gyakorlati esetekben a VCO stabilizálandó f_{k0} frekvenciája lényegesen nagyobb a fázisdetektor f_a referenciáfrekvenciájánál, emiatt frekvenciacsökkentés szükséges.

10. ábrán kiegészítjük a 9. ábra áramköri részletét egy frekvenciacsökkentő áramkörrel. A frekvenciacsökkentő egyúttal impulzusformáló kört is magában foglal, a kimeneti f_v frekvencia hordozója egy túlimpulzus-sorozat. Ez az impulzussorozat rávezethető a fázisdetektorként működő mintavételező áramkör mintavevő bemenetére. Ezzel kialakul a fázis-visszacsatolás.



10. ábra

Frekvenciaesökkentés keveréssel

A frekvencia csökkentésének egyik módja a lekeverés. A keverő egyik bemenetére vezessük a VCO kimeneti f_k frekvenciáját. A másik bemenetre adjunk

f_L frekvenciájú (lokál) jelet. A keverőt követő szűrő legyen a különbségi frekvencia sávjára hangolva. A lekeverés során f_v frekvenciájú jelet nyerünk.

$$f_v = |f_k - f_L|. \quad (19)$$

A (19) keverő-egyenletbe behelyettesíthetjük (18)-ből f_k kifejezését:

$$f_v = |f_{k0} - f_L + f_{k0} F_k \Delta\varphi|. \quad (20)$$

Az egyensúlyi érték $\Delta\varphi = 0$ esetén:

$$f_{v0} = |f_{k0} - f_L|. \quad (21)$$

Az f_v összefüggéseit leíró (20) kifejezésből emeljük ki az egyensúlyi f_{v0} -nak a (21) által leírt tagját:

$$f_v = f_{v0} \frac{|f_{k0} - f_L + f_{k0} F_k \Delta\varphi|}{|f_{k0} - f_L|}.$$

Tagonkénti osztással:

$$f_v = f_{v0} \left| 1 + \frac{f_{k0}}{f_{k0} - f_L} F_k \Delta\varphi \right|. \quad (22)$$

Amennyiben (20)-ban az

$$F_v = \frac{f_{k0}}{f_{k0} - f_L} F_k \quad (23)$$

jelölést alkalmazzuk, úgy a (22) kifejezés helyett az egyszerűbb (24) adódik:

$$f_v = f_{v0} |1 + F_v \Delta\varphi|. \quad (24)$$

(24) formailag nagyon hasonlít (18)-hoz. A (24)-ben és (23)-ban előforduló F_v mennyiség a fáziszárt hurok visszacsatoló ágának frekvenciaviszonya abban az esetben, ha keverővel történt a frekvenciacsökkentés.

(23) szerint F_v értéke F_k -től is függ. A (17) összefüggés megadja F_k értékét. Ezt a kifejezést (23)-ba behelyettesítve:

$$F_v = \frac{f_{kM} - f_{km}}{f_{k0} - f_L}. \quad (25)$$

Keverővel történő frekvenciacsökkentés során a frekvenciaviszony megváltozik — abszolút értékben megnövekszik — az eredeti értékhez képest. A növekedés mértéke a frekvencia csökkenésével arányos. (21) és (23) egybevetéséből:

$$|F_v| = F_k \frac{1}{\left(\frac{f_{v0}}{f_{k0}}\right)}.$$

A viszonyokat előjelhelyesen a 11. ábra szemlélteti.

Frekvenciacsökkentés leosztással

A lekeverés mellett a frekvencia csökkentésének másik módja a leosztás. A VCO kimeneti f_k frekvenciáját egy digitális osztó N -ed részére leosztja, ezáltal hozza létre a fázisösszehasonlításra alkalmas

f_v visszacsatoló frekvenciát:

$$f_v = \frac{f_k}{N}. \quad (26)$$

Digitális osztók esetében a frekvenciaosztás számológó áramkör útján valósul meg, így az N osztási modulus egész szám lesz.

Számítsuk ki a frekvenciaviszonyt frekvenciaosztó áramkörre. (24)-be helyettesítsük be az általános (18) összefüggést:

$$f_v = \frac{f_{k0}}{N} (1 + F_k \Delta\varphi). \quad (27)$$

Amennyiben $\Delta\varphi = 0$, akkor az f_{v0} egyensúlyi értékre jutunk:

$$f_{v0} = \frac{f_{k0}}{N}.$$

Ez utóbbi összefüggést beírva (27)-be:

$$f_v = f_{v0} (1 + F_k \Delta\varphi). \quad (28)$$

Az egységes tárgyalásmód végett (24)-gyel azonos alakú összefüggésre törekszünk.

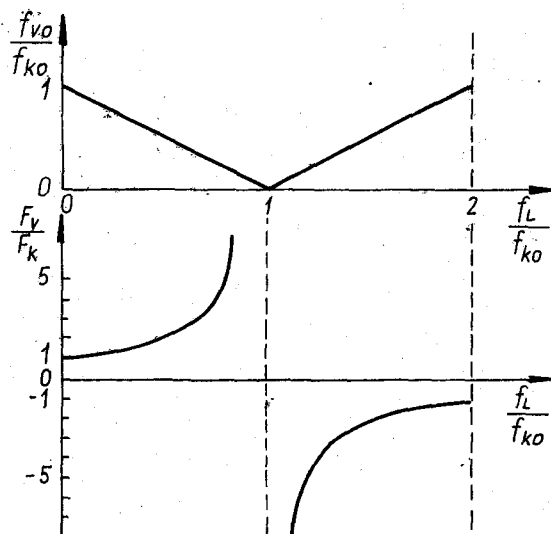
Amennyiben:

$$F_k = F_v, \quad (29)$$

úgy ez a formai azonosság rövid úton igazolható. (29) azt fejezi ki, hogy a digitális osztó nem változtat a frekvenciaviszonyon. (29) teljesülése esetén (17)-ből adódóan $F_v > 0$, tehát F_v mindig pozitív. (28) alapján f_v is mindig pozitív. Képezzük a kifejezés abszolút értékét! Ez a művelet f_v értékén nem változtat, de (28) formailag (24)-gyel teljesen azonos alakúvá válik.

A visszacsatolási frekvencia általános alakja

A visszacsatoló-frekvencia kifejezése mind a keverős, mind a digitális osztójú áramkörnél azonos. Az eltérés az F_v frekvenciaviszony struktúrájában van.



H 670-GJ 11

11. ábra

A (24) egyenletben F_v azonban csupán az áramkör felépítésére jellemző konstansként szerepel.

A hurok egyensúlya esetén az egyensúlyi mintavételi frekvencia megegyezik a fázisdetektor analóg jelének frekvenciájával (7. ábra), azaz

$$f_a = f_{v0}.$$

Így a következő egységes összefüggést nyerjük az f_v visszacsatolási frekvenciára:

$$f_v = f_a |1 + F_v \Delta\varphi|. \quad (30)$$

Ez az összefüggés a (23) és (24) által leírt keverős kör, valamint a (28) és (29) által leírt osztós kör visszacsatoló ágában mérhető visszacsatolási frekvencia egységített alakja.

A mintavételező fázisszinkronizált hurok működése

Az eddigiekben részletesen megvizsgáltuk a mintavételező fázisdetektor működését, majd a 10. ábra szerint a fázisdetektorhoz hozzákapcsoltuk a fázisszinkronizált hurok többi elemét is. Így teljes hurkot nyerünk. Hogyan működik ez a fáziszárt hurok?

Hurok-egyensúly esetén mintavételről mintavételre ugyanannál a φ_0 fázishelyzetnél történik a mintavétel. Az egyensúlyi helyzetből való eltérés: $\Delta\varphi = 0$. A fázisdetektoron valamennyi mintavétel alkalmával ugyanaz az U_{k0} kimeneti feszültség jelenik meg. Bár ez az U_{k0} feszültség mintavételezett, az egyensúly miatt értéke nem változik, a hurokban működő VCO-t tehát egyenfeszültség vezérli. Az egyenfeszültséggel vezérelt VCO kimeneti frekvenciája állandó f_{k0} érték. Ebből frekvenciacsökkentő áramkör hozza létre az f_{v0} egyensúlyi visszacsatoló-frekvenciát. Összefoglalva, az egyensúlyi helyzet azt jelenti, hogy $\varphi = \varphi_0$ fázishelyzetben mintavételező impulzust adva a fázisdetektorra, a fáziszárt hurok visszacsatoló ágában $f_v = f_{v0}$ frekvenciájú jel alakul ki. A visszacsatoló jel következő mintavételének fázishelyzete az előzővel megegyzően $\varphi = \varphi_0$ lesz. Az egyensúly eleve feltételezi, hogy f_{v0} megegyezik a fázisdetektor analóg bemenetére adott referencia fűrészjel f_a frekvenciájával [3].

Hogyan működik a fáziszárt hurok, ha az egyensúly nem áll fenn, $\Delta\varphi \neq 0$. (30) alapján látható, hogy a $\Delta\varphi$ -tól függő f_v visszacsatoló-frekvencia el fog térni f_{v0} -tól. $|\Delta\varphi|$ kis értéke esetén a visszacsatolási f_v frekvencia is csak kevéssé tér el f_{v0} -tól. Ez a Δf_v frekvenciaeltérés (5) szerint a visszacsatolási mintavétel $\nabla\varphi$ értékű fáziseltolódását eredményezi két egymást követő mintavétel során. Amíg a jelen (i -edik) mintavétel fázishelyzete:

$$\varphi_i = \varphi_0 + \Delta\varphi_i,$$

addig a következő ($i+1$ -edik) mintavétel fázishelyzete

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + \nabla\varphi$$

lesz. φ_{i+1} formailag φ_i -hez hasonló alakban felírható:

$$\varphi_{i+1} = \varphi_0 + \Delta\varphi_{i+1},$$

vagyis:

$$\Delta\varphi_{i+1} = \Delta\varphi_i + \nabla\varphi$$

Amennyiben $\Delta\varphi_i \neq 0$, akkor

$$\frac{\Delta\varphi_{i+1}}{\Delta\varphi_i} = 1 + \frac{\nabla\varphi}{\Delta\varphi_i} = A. \quad (31)$$

A (31) kifejezés a fáziszárt kör hurokerősítése. Azt mutatja, hogy $\Delta\varphi_i$ fáziseltérésből egy mintavételi ciklus lefolyása során mekkora $\Delta\varphi_{i+1}$ fáziseltérés jön létre. (31) szerint

$$\Delta\varphi_{i+1} = A \Delta\varphi_i.$$

A Δf_v frekvenciaeltérést (30) szerint a $\Delta\varphi_i$ fáziseltérés hozta létre:

$$f_v = f_a |1 + F_v \Delta\varphi_i|,$$

f_v tehát eltér az f_a egyensúlyi frekvenciától:

$$\Delta f_v = f_a - f_v.$$

A mintavételező fázisdetektor tárgyalásánál láttuk, hogy az egyensúlyi frekvenciától való eltérés a mintavételi fázis folyamatos eltolódásával jár együtt. A jelenséget leíró (5) összefüggésbe (4)-et és (30)-at behelyettesítve:

$$\Delta\varphi = -\frac{\Delta f_v}{f_v} = 1 - \frac{f_a}{f_v} = 1 - \frac{1}{|1 + F_v \Delta\varphi_i|}. \quad (32)$$

(32)-t (31)-be helyettesítve:

$$A = 1 + \frac{1}{\Delta\varphi_i} \left(1 - \frac{1}{|1 + F_v \Delta\varphi_i|} \right). \quad (33)$$

Amennyiben kis $\Delta\varphi_i$ értékekre szorítkozunk, a nagyságviszonyok alapján az abszolút érték képzés elhagyható, majd a (33)-ban található törtkifejezést sorbafejtve felírható:

$$\frac{1}{|1 + F_v \Delta\varphi_i|} = \frac{1}{1 + F_v \Delta\varphi_i} \approx 1 - F_v \Delta\varphi_i, \\ |\Delta\varphi_i| \ll 1.$$

Ezzel a közelítéssel (33) nagyon leegyszerűsíthető:

$$A = 1 - F_v. \quad (34)$$

A fázisban visszacsatolt hurok hurokerősítése tehát csakis az F_v visszacsatolási frekvenciaviszonytól függ. Nyilvánvalóan akkor áll be majd a hurokegyensúly, ha mintavételről mintavételre csökken a fázishiba, tehát

$$|\Delta\varphi_{i+1}| < |\Delta\varphi_i|.$$

Ugyanezt (31) szerint a hurokerősítéssel kifejezve:

$$\left| \frac{\Delta\varphi_{i+1}}{\Delta\varphi_i} \right| = |A| < 1,$$

tehát

$$-1 < A < 1.$$

(34) szerint F_v -re áttérve:

$$0 < F_v < 2.$$

Ez a stabilitás feltétele. Ugyanezt az eredményt adja más jellegű levezetés alapján [4] is.

Időbeli folyamatok

Vizsgáljuk meg a fázisban visszacsatolt áramkör visszacsatoló ágában a frekvencia-beállítás folyamatát.

Az f_v visszacsatolási frekvencia vizsgálatánál a (30) és a (4) összefüggés felhasználásával az egyensúlytól való eltérésre nyerünk összefüggést:

$$\Delta f_v = -f_a F_v \Delta \varphi.$$

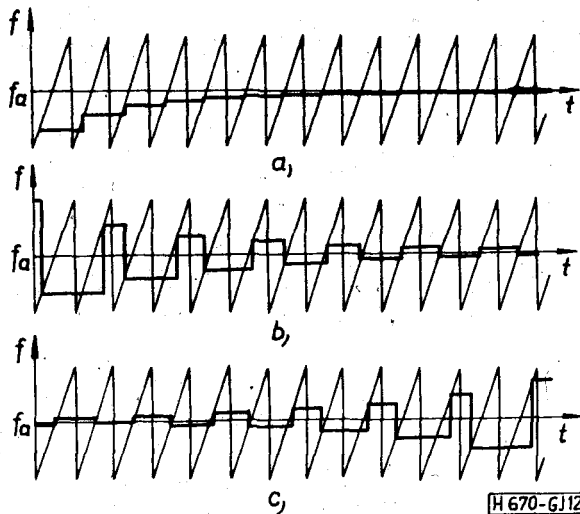
Az összefüggést i valamint $i+1$ indexszel véve és ezek hányadosát képezve:

$$\Delta f_{i+1} = A f_i. \quad (35)$$

A frekvenciaeltérések tehát — akárcsak a fáziselérések — szintén a hurokerősítés mértékében változnak mintavételről mintavételre. A 12a ábra fázisban visszacsatolt mintavételezési folyamatot mutat $0 < A < 1$ hurokerősítéssel, vagyis $1 > F_v > 0$ frekvenciaviszonnyal.

A 12b ábrán a hurokerősítés negatív: $-1 < A < 0$, ugyanakkor $2 > F_v > 1$. Most a stabil f_a frekvenciaérték előjelváltások sorozatán át fog beállni.

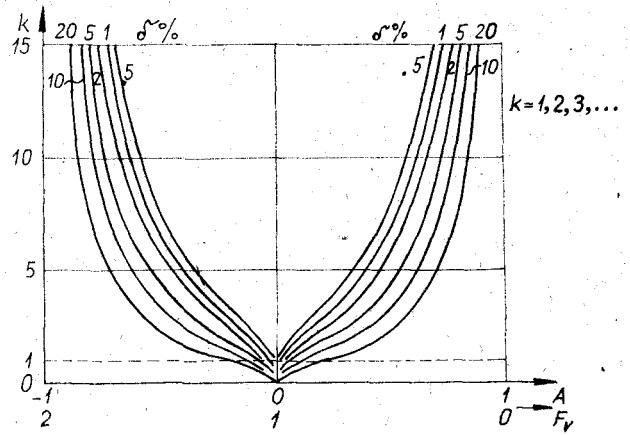
A 12c ábra nem stabil folyamatot mutat. $A < -1$, ezek szerint $F_v > 2$. A mintavételező folyamat a visszacsatolt rendszer berezgéséhez vezet.



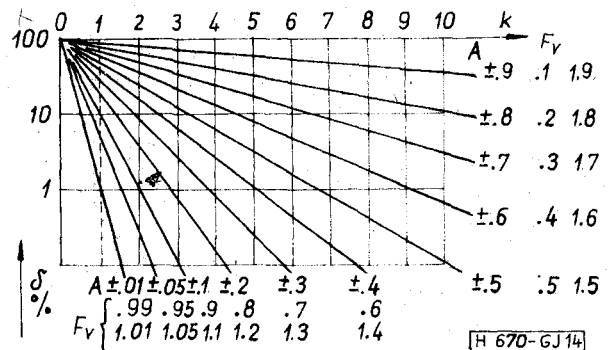
12. ábra

A konvergencia sebessége

A (34) összefüggésből a konvergencia sebessége is számítható. A sebesség az A hurokerősítéstől függ és (34) szerint a hurokerősítés egyedül az F_v visszacsatolási frekvenciaviszonnyal van kapcsolatban. Az F_v frekvenciaviszony a mintavételező fáziszárt kör egyensúly-környéki kisjelű működésének minden tulajdonságát megszabja, így a konvergencia sebességét is. A 13. és 14. ábra diagramja ezt a konvergencia sebességet mutatja az F_v frekvenciaviszony függvényében. A sebesség azzal jellemezhető, hogy hány



13. ábra



14. ábra

mintavételezési ciklus alatt csökken a Δf_v frekvenciahiba a kiindulási érték bizonyos $\delta\%$ -ára.

A 13. diagramból látható, de a (35) összefüggésből is következik, hogy $A=0$ hurokerősítés esetén, azaz ha a frekvenciaviszony $F_v=1$, akkor a soron következő mintavétel alkalmával hibamentesen beáll az egyensúlyi helyzet, tranziensek nem jönnek létre.

A hurokparaméterek jó megválasztásával egyedülállóan gyors működésű, rövid tranziensidejű fáziszinkronizált körhöz juthatunk. A mintavételező fáziszárt körnek ez a gyors működése az a kiemelkedő tulajdonság, ami ezt az áramkört más fáziszárt köröktől megkülönbözteti.

I R O D A L O M

- [1] Datel, Engineering Product Handbook, Datel Systems Inc. 1976.
- [2] Czékány T.: Gyors és pontos mintavételező tartó áramkör tervezése. TKI intézeti tanulmány, 1979.
- [3] Manassewitsch, V.: Frequency Synthesizers, Theory and Design. New York, Wiley, 1976.
- [4] Grad J.: A mintavételező fáziszinkronizáció. Híradástechnika, XXIX. évf. 3. szám, 1978. március.

Siemens a MIPEL-en

A Siemens vállalat a MIPEL 1979-en alkatrészgyártásának újdonságait mutatja be. A számos újdonság egy része először a budapesti vásáron kerül a magyar szakemberek elé. Ezenkívül bemutatják a jelenlegi gyártási

programjuk legjelentősebb reprezentációit is. A cég újdonságairól következő számunkban részletesebben is be fogunk számolni.