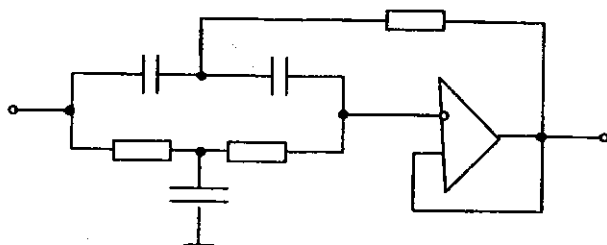


*Q.M.Mansurov*

## AKTİV SÜZGƏCLƏR

### ÖTÜRMƏ FUNKSİYALARININ TƏHLİLİ VƏ ELEKTRİK SXEMLƏRİNİN HESABLANMASI

Dərs vəsaiti



$$G(S) = \prod_{i=1}^{n/2} \frac{\rho_i (S^2 + \alpha_i \cdot \omega_0^2)}{S^2 + \beta_i \cdot \omega_0 \cdot S + \gamma_i \cdot \omega_0^2}$$

Sumqayıt- 2002

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**SUMQAYIT DÖVLƏT UNİVERSİTETİ**

**Q.M.MANSUROV**

**AKTİV SÜZGƏCLƏR:**  
**ÖTÜRMƏ FUNKSİYALARININ TƏHLİLİ VƏ**  
**ELEKTRİK SXEMLƏRİNİN HESABLANMASI**

42722  
7

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirinin 11.07.2001 tarixli 824 sayılı əmri ilə T 140000 "Elektron texnikası" istiqaməti üzrə ali məktəblərin bakalavr təhsil pilləsi üçün dərs vəsaiti kimi təvsiyyə edilmişdir.

**Sumqayıt - 2002**

- Rə'yçilər:** 1. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının müxbir üzvi, t.e.d., prof. Məmmədov F.İ.  
2. Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının "İnformasiya ölçmə və hesablama texnikası" kafedrasının müdiri, t.e.d., prof. Mirsəlimov R.M. və t.e.n., dos. Məmmədov R.Q.
- Elmi redaktor:** Sumqayıt Dövlət Universitetin "Elektron cihazları və avtomatlaşdırma vasitələri" kafedrasının müdiri, t.e.d., prof. Kazımov N.M.

### **Qadir Məmməd oğlu Mansurov**

**Aktiv süzğəclər:** ötürmə funsiyalarının təhlili və elektrik sxemlərinin hesablanması (dərs vəsaiti).-Sumqayıt: SDU, 2002.-99s.

Vəsait T140000 - "Elektron texnikası" istiqaməti üzrə tədris olunan "Analoq elektronika" fənninin proqramı əsasında yazılmışdır. Vəsaitdə aktiv süzğəc və manqalardan Battersvort, Çebişev, invers Çebişev və elliptik növlərinin ötürmə funsiyalarının tərtib edilməsi və prinsiplial - elektrik sxemlərinin hesablanması məsələlərinə baxılır. Məsələ həlləri nümunələri verilir. Hesablamalarda "Math Cad" tətbiqi proqramlar paketi ilə yazılan proqramlardan istifadə olunur.

Vəsait "Elektron texnikası" istiqaməti üzrə təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur və sxemotexnika ilə məşğul olan mühəndis - texniki işçilər üçün də faydalı ola bilər.

---

Мансуров Г.М. Активные фильтры: Анализ передаточных функций и расчет электрических схем (учебное пособие). - Сумгаит: СГУ, 2002.-99с.

## G İ R İ Ş

Aktiv RC- qurğular (ARC-sxemlər) rezistiv gücləndirici, tutum və müqavimət elementləri əsasında yaradılan analoq radiotexniki qurğulara deyilir.

ARC -sxemlərin yaradılması güclü maqnit sahələrində işlədilə bilən ölçmə sistemlərinin və tezlik diapazonunun alçaq və infraalçaq oblastlarını mənimsəmək üçün elektron qurğularının yaradılması ilə bağlıdır. Belə şərait üçün induktiv sargaclardan istifadə yararsızdır. Buna səbəb, alçaq tezliklər üçün sargacın ölçülərinin böyük olması, onun işçi xarakteristikalarının ideal haldan daha çox kənara çıxması və stabil olmaması və nəhayət, induktiv sargacın integral texnologiya üçün yararlı olmamasıdır. Buna görə də induktiv elementsiz sxemlərin - ARC-sxemlərin sintezi və yaradılması elektron texnikasının əsas istiqamətlərindən biri sayılır.

İnduktiv elementsiz sxemlərin yaradılması mikroelektronikanın metodları ilə müasir radioelektron qurğuların layihələndirilməsinin inkişafı sayəsində mümkün olmuşdur.

Elektron sənayesi ARC - sxemlərin işlənilməsi üçün geniş çeşiddə polufabrikatlar - əməliyyat gücləndiriciləri (ƏG), giratorlar, elektrik süzgeçləri, lengidicilər, korrektorlar və digər mikrosxemlər istehsal edir. Belə polufabrikatlardan istifadə ilə yaradılan elektron qurğusu iqtisadi, texnoloji, kütlə və qabarit cəhətdən daha yüksək göstəricilərə malik olurlar. Sazlanma, köklənmə və xarakteristikalarının stabilliyi cəhətdən də ARC sxemlər RLC- sxemlərdən üstüdürlər. Geniş tezlik diapazonunda ( $10^{-1}$  -  $10^7$  Hs) elektrik siqnallarının seleksiyası, korreksiyası və çevrilməsində ARC -sxemlərdən istifadənin imkanları nəzəri əsaslandırılmış və təcrübədə sübuta yetirilmişdir [1-4]. ARC -sxemlərin sintezi və işlənilməsi üzrə nəzəri

biliklərin və praktik vərdişlərin aşılması "Elektron texnikası" istiqaməti üzrə kadrların hazırlanmasında tədrisin vacib elementlərindən biridir.

Vasaitdə aktiv RC -süzgəclərin analizinə, sintezinə və parametrlərinin qiymətləndirilməsinə baxılır. Süzgəc sxemlərinin təhlilini asanlaşdırmaq, hesablamaları sürətləndirmək və nəticələri müqayisə etmək məqsədilə vasait- rəqəmsal məsələlər daxil edilmişdir. Məsələlərin həllində "Math Cad" programlar paketindən istifadə olunur.

"Aktiv süzgəclər: Ötürmə funksiyalarının təhlili və elektrik sxemlərinin hesablanması" dərsləri vasaiti T140000 "Elektron texnikası" istiqaməti üzrə tədris proqramına uyğun hazırlanmış və "Analoq elektronika", "Güc elektronika", "Elektron dövrələri və mikro sxem texnikası" fənləri üzrə praktik məşğələlərin, kurs və layihələndirmə işlərinin yerinə yetirilməsində tələbələrə kömək məqsədilə yazılmışdır.

Vasait sxemotexnika ilə məşğul olan magistrler, aspirantlar və mühəndisler üçün də dəyərli ola bilər.

Vasaiti təkmilləşdirəcək xüsusi qeyd və tədiqlərini bildirecək ixtisasçılara müəllif öz razılığını və təşəkkürünü bildirir.

Ünvan: Sumqayıt Dövlət Universiteti,  
"Elektron cihazları və avtomatlaşdırma vasaitləri" kafedrası

## 1. AKTİV SÜZGƏCLƏRİN KLASSİFİKASIYASI VƏ ÖTÜRMƏ FUNKSIYALARININ TƏHLİLİ

Aktiv süzgeçlər həm tezlik seçici, həm də elektrik signal-larının səviyyəsini yüksəldən (gücləndirici) elektron qurğuları-dırlar. Prinsipial elektrik sxeminə xətti rejimdə işlədilan əməliyyat gücləndiricilərindən və passiv elementlərdən (rezistiv müqavimət (R), tutum (C) və induktiv (L) elementlər) istifadə olunur. Aktiv süzgeç sxemlərinin işlənilməsində iki üsuldən istifadə olunur. Üsullardan biri LC- süzgeçlərin yaradılmasının klassik metodlarına əsaslanır, lakin real induktiv sarğaçlar əvəzinə onların sxem ekvivalentləri (giratorlar) istifadə olunur. Bu üsul mürekkəbdir və süzgeç sxeminin işlənilməsində çoxlu sayda elementlərdən istifadə olunmasını tələb edir. Digər üsul induktiv sarğaçdan istifadə etmədən RC - süzgeçlərin yaradılmasına əsaslanır və daha kompakt qurğu yaratmağa imkan verdiyindən geniş tətbiq olunur. Bu bölmədə aktiv RC-süzgeçlərin kaskadlarla işlənilməsinə və kaskadları reallaşdıran süzgeç və mənzələrinin ötürmə funksiyaların təhlilinə baxılır.

Aktiv süzgeçin əsas xarakteristikası onun signalı ötürmə funksiyasıdır:

$$G(S) = U_2(S) / U_1(S). \quad (1.1)$$

(1.1) ifadəsində  $U_2(S)$  və  $U_1(S)$  - uyğun olaraq süzgeçin çıxış və giriş gərginlikləri,  $S=j \cdot \omega$ ,  $j$  - xəyali vahid,  $\omega=2\pi f$  - dairəvi tezlik,  $f$ -xətti tezlikdir. (1.1) ötürmə funksiyası kompleks kəmiyyətdir:

$$G(j\omega) = |G(j\omega)| \cdot \exp[j\varphi(\omega)]. \quad (1.2)$$

(1.2) ifadəsində  $A(\omega) = |G(j\omega)|$ - süzgeçin amplitud-tezlik xarakteristikası (ATX),  $\varphi(\omega)$ - süzgeçin faz-tezlik xarakteristikası (FTX) adlanır. ATX- nin qiymətləndirilməsi üçün loqarifmik vahidlərdən də istifadə olunur:

$$\alpha(\omega) = -20 \cdot \lg[A(\omega)] \text{ (dB)}, \quad (1.3)$$

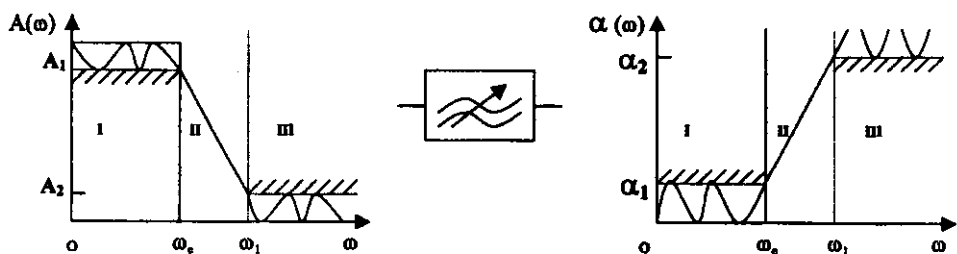
$\alpha(\omega)$ - verilmiş tezlikdə signalın zəifləmə əmsalı adlanır.

Sxemotexnikada istifadə olunan aktiv süzgeçlər ATX-nin formasına görə, ATX və FTX-nin formalarına görə, ATX-nin formasına və zaman xarakteristikasına görə işlənilirlər.

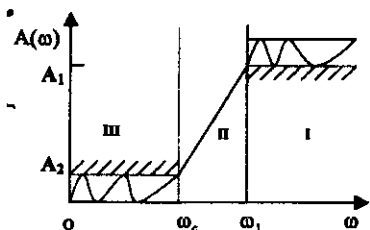
ATX-nin formasına görə işlənən süzgeçlərdə signalın səviyyələri tezlikdən asılı olaraq  $A(\omega)$  və ya  $\alpha(\omega)$ -nin qiymətləri ilə müəyyənləşdirilir (şəkil 1.1).  $\alpha(\omega)$ -nin süzgeç üçün tələb olunan  $\alpha_1 = \alpha(\omega_c)$  qiymətdən yuxarı olmadığına uyğun tezlik diapazonu süzgecin buraxma zolağı (I),  $\alpha_1$ -qiymətinə uyğun  $\omega_c, \omega_{c1}, \omega_{c2}$ -tezliklər signalın kəsilmə tezlikləri adlanırlar.  $\alpha(\omega)$ -nin tələb olunan  $\alpha_2 > \alpha_1$  qiymətdən aşağı olmadığına uyğun tezlik diapazonu süzgecin signalı saxlama (udma) zolağı (III)  $\alpha_2$ -nin qiymətinə uyğun  $\omega_1, \omega_2$ -tezlikləri isə signalı saxlama tezlikləri adlanırlar. İdeal süzgeç üçün  $\omega_c = \omega_1$  olmalıdır. Lakin praktikada ideal hala nail olmaq mümkün olmur ( $\omega_c < \omega_1$  və ya  $\omega_c > \omega_1$ ). Kəsilmə tezliyi  $\omega_c$  və saxlama tezliyi  $\omega_1$  arasındakı oblast keçid oblastı (II) adlanır. Tezlik diapazonunda buraxma (I) və saxlama (III) zolaqlarının qarşılıqlı vəziyyətlərinə görə tezlik seçici süzgeçlər aşağı tezlikli (şəkil 1.1, a), yuxarı tezlikli (şəkil 1.1, b), buraxma zolaqlı (şəkil 1.1, v) və udma zolaqlı (rejektor) (şəkil 1.1, q) olurlar. Şəkil 1.1 - də təsvir olunan buraxma zolaqlı (v) və rejektor (q) süzgeçlər üçün digər karakteristikələrə  $\omega_0$ -mərkəzi tezlik,  $\Delta\omega = \omega_{c2} - \omega_{c1}$  zolağın eni,  $Q = \omega_0/\Delta\omega$ -keyfiyyətlik əmsali, aşağı ( $\omega_1, \omega_{c1}$ ) və yuxarı ( $\omega_{c2}, \omega_2$ ) keçid oblastları aiddirlər. Aşağı tezlikli və rejektor süzgeç üçün güclənmə əmsali  $K = A(0)$ , yuxarı tezlikli süzgeç üçün isə  $K = A(\infty)$  kimi təyin olunurlar. Hesəblamaları asanlaşdırmaq üçün həm tezliyin  $(\omega/\omega_c)$ , həm də  $A(\omega)$ -nin  $(A(\omega)/K)$  normallaşdırılmış qiymətlərindən istifadə olunur. Əksər süzgeç işləmələrində  $\omega_c$ -kəsilmə tezliyi  $A(\omega)$ -nin maksimal qiymətdən  $\sqrt{2}$  dəfə azalmasına uyğun götürülür. Bu hal üçün  $\alpha_1 = 3$  dB və belə təyin olunan  $\omega_c$  tezliyində signal 3 dB zəifləyir və ya öz maksimal qiymətinin 70,7 %-ə bərabər olur.

Həm ATX, həm də FTX üçün qoyulan tələblərə uyğun işlənən süzgeçlərə nümunə kimi faz sürüşdürücü və Bessel süzgeçləri göstərmək olar. Bunlar aşağı tezlikli süzgeç əsəmləri əsasında işlənirlər və işlənilmə ehtiva aparılır ki, buraxma zolağında ATX-nin sabitliyi və FTX-nin xəttliliyi təmin olunur. Faz sürüşdürücü süzgeç üçün əsas xarakteristika signalın ləngimə müddətidir:

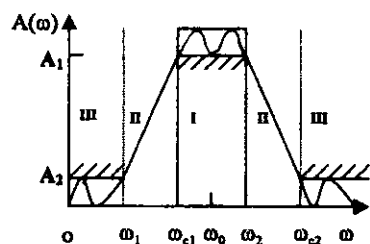
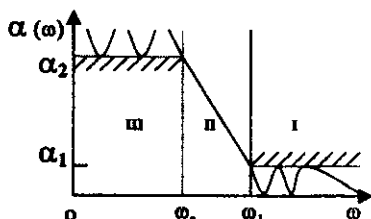
$$T(\omega) = - \frac{d}{d\omega} \varphi(\omega) \quad (1.4)$$



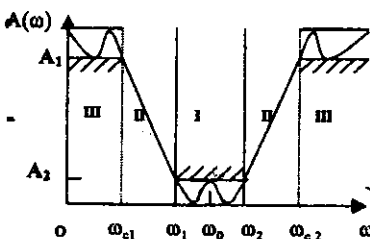
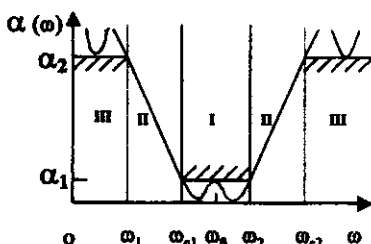
a)



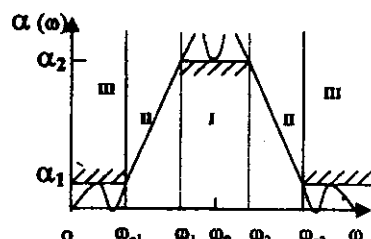
b)



v)



q)



Şəkil 1.1. Aşağı tezlikli (a), yuxarı tezlikli (b), buraxma zolaqlı (v) və rejektor (q) süzgeçlərin amplitud - tezlik xarakteristikalarının təsvirləri: I - buraxma zolaqlı, II - keçid oblası, III - saxlama zolaqlı.



Süzgəc sxemi vasitəsilə  $\varphi(\omega) = -\tau\omega$  xətti funksiya tə'min olunarsa, (1.4) ifadəsinə əsasən  $T(\omega) = \tau - \text{const}$  alırıq. Lakin nəzərə alınmalıdır ki,  $\varphi(\omega)$  - xəttliliyə yaxınlaşdıqda, ATX- təhrif olunur.

ATX -nin buraxma və saxlama zolaqlarında dəyişmə formasına görə də süzgeçlər fərqləndirilir:

- Rəttəvort süzgeç - ATX həm buraxma, həm də saxlama zolaqlarda monotondur;

- Çəbişev süzgeç - ATX buraxma zolağında bərabər döyünən, saxlama zolağında isə monotondur;

- İvers Çəbişev süzgeç - ATX buraxma zolağında monoton, saxlama zolağında isə bərabər döyünəndir;

- Elliptik (Zolotaryov-Kauer) süzgeç - ATX həm buraxma, həm də saxlama zolağında bərabər döyünəndir.

### 1.1. Aktiv RC- sxemlərin işlənilməsinə qoyulan ümumi tələblər

ARC -sxemlərin işlənilməsində məqsəd qoyulan tələblərə cavab verən kassalərə malik elektron qurğusunun yaradılmasıdır. Bu tələblər içərisində ən mühümü qurğunun tezlik və ya zaman xarakteristikasına uyğun siqnalların səviyyəsinin tələb olunan hədudan kənara çıxmasını tə'min etməkdir. Aktiv süzgeç qurğusunda tələb olunan hədudlar şəkil 1.1-ə uyğun olaraq  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  -nin qiymətləri ilə tə'yin olunurlar. Bundan başqa, digər tələblər də, məsələn, qurğunun xarakteristikalarının stabilliyi, küylü və qeyri-xətti təhrifləri, köklənməsinin və sazlanmasının mümkün olması, texnolojiliyi və səmərəliliyi və s. nəzərə alınmalıdır. İşlənilən qurğu stabilliyi pozan və dəyişmə diapazonu mə'lum olan faktorların birgə tə'siri şəraitində istismar olunur. Destabilizasiya faktorları istismar prosesində qurğunun xarakteristikalarını yol verilən həddən kənara çıxarmamalıdır. İş prosesində giriş siqnalının səviyyəsi dəyişə bilər. Bu səbəbdən, qurğunun sxemində dinamik diapazonun, qeyri-xətti təhriflərin və küylü səviyyələri də tə'min olunmalıdır. Qurğunun prinsiplial elektrik sxeminin işlənilməsində istifadə olunan elementlərin nominallarına və sayına da məhdudiyətlər qoyulur. Tutum elementlərinin sayı minimum olmalıdır. ARC- sxem üçün hibrid texnologiya nəzərdə tutulursa tutumun və müqavimətin texnoloji

prosesə uyğun məhdud qiymətləri nəzərə alınmalıdır. Bə'zi hallarda qurğunun güc sərfinə də müəyyən tələblər qoyulur. Göründüyü kimi, ARC - sxemlərin işlənilməsində qoyulan tələblər çoxşaxəli və əksər hallarda qarşılıqlı ziddiyyətlidir. Bu səbəbdən ARC-sxemlərin tam şəkildə optimal işlənilməsini tə'min etmək mümkün deyil. Lakin elektron sxemlərinin sintezi nəzəriyyəsinin nəticələrinə əsaslanaraq optimala yaxın mükəmməl ARC-qurğu yaratmaq mümkündür.

ARC -sxemlərin işlənilməsinin ikinci mərhələsini tələb olunan xarakteristikalara malik ötürmə funksiyasının ifadəsinin alınması təşkil edir. Aktiv süzgeçlər üçün bu funksiya  $m$  və  $n$  tərtibli iki polinomun nisbəti şəklində göstərilir:

$$G(S) = \frac{\sum_{i=0}^m a_i \cdot S^i}{\sum_{j=1}^n b_j \cdot S^j} \quad (1.1.1)$$

Burada  $a_i$  və  $b_j$  - həqiqi sabitlər;  $m, n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $m \leq n$ ;  $n$ -süzgeçin tərtibidir. Yüksək tərtibli süzgeçlərdə ATX -nin ideal hala yaxın olmasına baxmayaraq, tərtibin artırılması işlənilən sxemi mürəkkəbləşdirir və onun dəyərini artırır. (1.1.1) ifadəsinə uyğun  $m$  sayda sıfırlar ( $G(S)=0$ ) və  $n$  sayda qütblər ( $G(S)=\infty$ ) mövcuddur. İfadədə  $a_0$ -dan başqa bütün  $a_i$  əmsallar sıfır olarsa uyğun süzgeç polinomial adlanır. Aktiv süzgeçlərin işlənilməsinin ikinci mərhələsinə seçilmiş ötürmə funksiyasına uyğun süzgeçin quruluş sxeminin təşkili aiddir. Süzgeçin quruluş sxeminin işlənilməsi üsulları çoxdur və bu üsulların geniş istifadə olunanlarından biri (1.1.1) ötürmə funksiyasını  $i$ - sayda birtərtibli və  $j$ - sayda ikitərtibli polinomlar nisbətinin hasilini kimi göstərilməsinə əsaslanır:

$$G(S) = \prod_{i=1}^m \frac{a_i \cdot S + a_{0i}}{S + b_{0i}} \cdot \prod_{j=1}^n \frac{a_j \cdot S^2 + a_{1j} \cdot S + a_{0j}}{S^2 + b_{1j} \cdot S + b_{0j}} \quad (1.1.2.)$$

(1.1.2) ifadəsinə əsasən çoxkəmərlili quruluş sxemi yaradılır. Bu halda süzgeç ardıcıl birləşdirilmiş məqəllərdən təşkil olunur. Bu məqəllər bir-birinə tə'sir göstərərək məxsusi ötürmə

funksiyalarını dəyişdirmirsə, ümumi sxem  $n$  tərtibli süzgeç funksiyasını yerinə yetirir. Qeyd edək ki, integral ƏG-lər ideal halda sonsuz giriş müqavimətinə və çox kiçik çıxış müqavimətinə malik qurğular olduğundan onlardan manqalar arası rabitə kimi istifadə etmək əlverişlidir.

Aktiv süzgeçlərin kaskadlarla işlənilməsində  $n > 2$  və cüt tərtib süzgeç tələb olunursa,  $n/2$  sayda ikinci tərtib süzgeç manqasından istifadə olunur və süzgeçin ötürmə funksiyasının ifadəsi

$$G(S) = \prod_{j=1}^{n/2} \frac{a_{2j}S^2 + a_{1j}S + a_{0j}}{S^2 + b_{1j}S + b_{0j}} \quad (1.1.3)$$

kimi olur,  $n > 2$  və tək tərtib süzgeç tələb olunarsa, süzgeç bir ədəd birinci tərtib və  $(n-1)/2$  ədəd II tərtib süzgeç manqaları əsasında işlənir və onun ötürmə funksiyası

$$G(S) = \frac{a_1S + a_0}{S + b_0} \cdot \prod_{j=1}^{(n-1)/2} \frac{a_{2j}S^2 + a_{1j}S + a_{0j}}{S^2 + b_{1j}S + b_{0j}} \quad (1.1.4)$$

kimi ifadə olunur. Qeyd edək ki, (1.1.2), (1.1.3) və (1.1.4) ifadələrində vuruqlardan hər biri sabit ədədə vurula bilər və bu sabit ədədlərin hasilı vahid olmalıdır.

Beləliklə, birinci tərtib süzgeç manqasına uyğun sxem

$$G(S) = \frac{P(S)}{S + c_0} \quad (1.1.5)$$

ötürmə funksiyasını reallaşdıran sxem olmalıdır. Burada  $P(S)$ -birinci və ya sıfırıncı tərtib polinom,  $c_0$  - sabit ədəddir. İkinci tərtib süzgeç manqasına uyğun sxem

$$G(S) = \frac{P(S)}{S^2 + b \cdot S + c_0} \quad (1.1.6)$$

ötürmə funksiyasını reallaşdıran sxem olmalıdır. Burada,  $P(S)$ -ikinci və ya ondan aşağı tərtib polinom,  $b$ ,  $c_0$  - sabit ədədlərdir. İşlənən süzgeç sxemləri üçün  $c_0^{0.5}$ -məxsusi tezliyə,  $c_0^{0.5}/b$ -keyfiyyətlik əmsalına uyğundur.

## 1.2. Aşağı tezlikli polinomial süzgeç və manqalarının ötürmə funksiyalarının təhlili

Aşağı tezlikli süzgeç və manqaları üçün ötürmə funksiyaları aşağıdakı verilənlər əsasında işlənirlər:

1.  $\omega_c$  - siqnalın kəsilmə tezliyi;
2.  $\alpha_1 = \alpha(\omega_c)$  - buraxma zolağında ( $0 \leq \omega \leq \omega_c$ ) siqnalın zəifləmə əmsalının maksimum həddi;
3.  $\omega_1$  - siqnalı saxlama tezliyi və ya  $\omega = (\omega_1 - \omega_c)$  - keçid zolağın eni;
4.  $\alpha_2 = \alpha(\omega_1)$  - saxlama zolağında ( $\omega_1 \leq \omega < \infty$ ) siqnalın zəifləmə əmsalının minimum həddi;
5.  $K = A(0)$  - gücləndirmə əmsali;
6. ATX -nin dəyişmə xarakterinə uyğun süzgeç növü (Battervort, Çebışev, İvers Çebışev, elliptik).

Süzgeç növlərindən Battervort və Çebışev polinomial, İvers Çebışev və elliptik isə qeyri-polinomial süzgeçlərdirlər.

Polinomial süzgeçlərə uyğun ötürmə funksiyasının ümumi ifadəsi (1.1.1) -də  $a_1 = 0$  və  $a_n \neq 0$  şərtindən alınır:

$$G(S) = \frac{K \cdot b_0}{S^n + b_{n-1} \cdot S^{n-1} + \dots + b_1 \cdot S + b_0}, \quad (n=1,2,3,\dots). \quad (1.2.1)$$

Normallaşdırılmış süzgeç üçün (1.2.1) ifadəsi bir və iki tərtibli süzgeç manqalarına uyğun ötürmə funksiyalarının hasilini kimi göstərilir.

$$G(S) = \left( \frac{K_0 \cdot C_0}{S + C_0} \right)^r \prod_{k=1}^{(n-r)/2} \frac{K_k \cdot C_k}{S^2 + B_k \cdot S + C_k}, \quad (n = 2, 3, \dots). \quad (1.2.2)$$

(1.2.2) - də  $n$  tək olduqda  $r=1$ ,  $n$  cüt olduqda  $r=0$  götürülür.,  $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \dots$  ümumi gücləndirmə əmsali, ötürmə funksiyasına uyğun süzgeç manqalarının gücləndirmə əmsallarının hasilini kimi təyin olunur.

Battervort süzgeç üçün ATX-nin dəyişməsi həm buraxma, həm də kəsilmə zolaqlarında monotondur. Tezlik artdıqca ATX-nin monoton azalmasını təmin etmək üçün (1.2.2) ötürmə funksiyalarının kompleks qütbləri,  $C_0$ ,  $B_k$  və  $C_k$  - əmsalları aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\lambda_k = \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n} \pm j \cos \frac{(2k-1)\pi}{2n} ; \quad (1.2.3)$$

$$C_0 = \text{Re}(\lambda_1)_{n=1} ; \quad B_k = 2 \cdot \text{Re}(\lambda_k) ; \quad C_k = |\lambda_k|^2 ; \quad (1.2.4)$$

Aşağı tezlikli Battervort süzgeç için ATX- nin ifadesi aşağıdaki kimidir:

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^{2n}}} , \quad (n = 1, 2, 3, \dots) . \quad (1.2.5)$$

(1.2.5) ifadesinden görüldüyü kimi tezlik arttıkça  $A(\omega)$  monoton azalır ve  $\omega = \omega_c$  qiymetinde  $A(\omega) = K/\sqrt{2}$  olur ve bu da  $\alpha_1 = \alpha(\omega_c) = 3\text{dB}$  qiymete uygun gelir. Süzgecin tertibi arttıkça ATX ideal hala ( $t\omega = 0$ ) yakın olur. Lakin yüksek tertibe uygun elektrik sxemi daha çox manqa tələb etdiyi və daha mürekkəb olduğu üçün, süzgeç işlenilərkən verilmiş tələblərə uyğun minimum tertib seçilməlidir. Süzgecin tertibi ATX - nin (1.2.5) ifadesindən təyin olunur:

$$n = \frac{\lg(2 \cdot \beta^2 - 1)}{2 \cdot \lg(\Omega)} . \quad (1.2.6)$$

Burada  $\Omega = \omega_1/\omega_c$  və  $\beta = A(\omega_c)/A(\omega_1)$  kimi təyin olunurlar.

(1.2.6) ifadesini  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  və  $t\omega$  - ilə ifadə etsək:

$$n = \frac{\lg[2 \cdot 10^{0.1(\alpha_2 - \alpha_1)} - 1]}{2 \lg\left(\frac{t\omega}{\omega_c} + 1\right)} , \quad (1.2.7)$$

alırıq. Qeyd edək ki,  $\frac{t\omega}{\omega_c} = \frac{t\omega(\text{Hs})}{f_c(\text{Hs})}$  kimidir.

Məsələ 1.2.1.  $\alpha_1 = 3 \text{ dB}$ ,  $\alpha_2 = 20 \text{ dB}$ ,  $f_c = 10^3 \text{ Hs}$  və  $t\omega \leq 300 \text{ Hs}$  verilənlər əsasında aşağı tezlikli Battervort süzgecin ötürmə funksiyasını tertib etməli.

Həlli: "Math Cad" tətbiqi proqramlar paketi ilə alınan nəticələr "Batterword - AT" proqramının mətnində verilmişdir.

$\Omega = 1.3$ ,  $n = 8.762$  qiymətləndirilir. Tertib tam olmalıdır,  $t\omega \leq 300 \text{ Hs}$  təmin etmək üçün  $n$  bir vahid artırılır və "floor" funksiyası ilə tam hissə,  $n = 9$  götürülür, "root" funksiyası ilə

Batterwort - AT

$$\alpha_1 := 3 \text{ dB} \quad \alpha_2 := 20 \text{ dB} \quad fc := 1000 \text{ Hz} \quad \tau\omega := 300 \text{ Hz}$$

$$h := 10 \quad 0.1 \cdot \begin{bmatrix} \alpha - \alpha \\ 2 \quad 1 \end{bmatrix} \quad \Omega := \begin{bmatrix} \tau\omega \\ - \\ fc \end{bmatrix} + 1 \quad n(\Omega) := \left\lceil \frac{\log(2 \cdot h - 1)}{2 \cdot \log(\Omega)} \right\rceil$$

$$\Omega = 1.3 \quad n(\Omega) = 8.762 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad \tau\omega := fc \cdot (\Omega - 1) \quad n := n1$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad r = 1 \quad n = 9 \quad \tau\omega = 291.012$$

$$k := 1 \dots \frac{n - r}{2} \quad \Omega = 1.291 \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

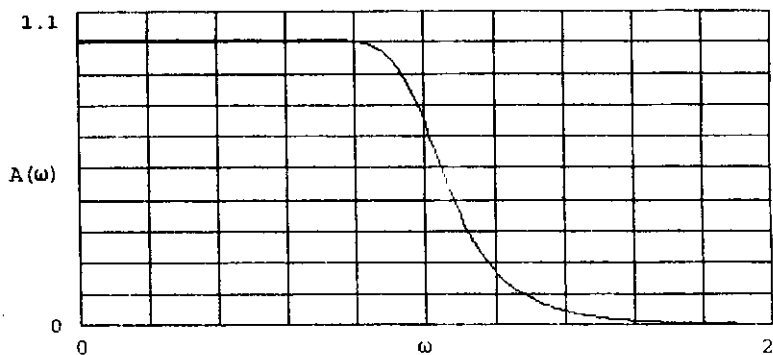
$$j := 0 + i \quad \lambda_k := \sin[\phi_k] + j \cdot \cos[\phi_k]$$

$$C_0 := 1 \quad B_k := 2 \cdot |\text{Re}[\lambda_k]| \quad C_k := \left[ \frac{\lambda_k}{|\lambda_k|} \right]^2$$

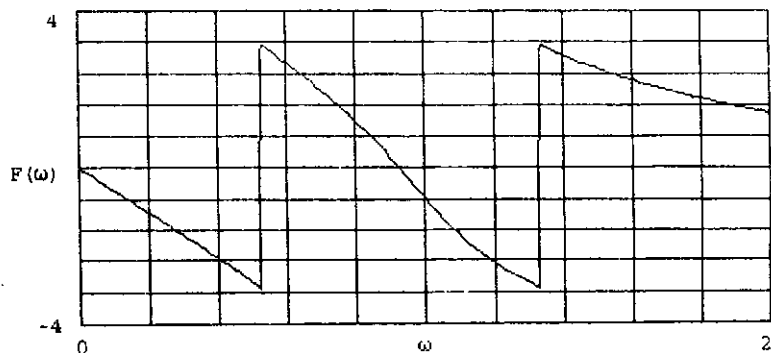
k	Re $[\lambda_k]$	Im $[\lambda_k]$	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\frac{C \cdot B}{k \cdot k}^{-1}$
1	0.174	0.985	0.347	1	2.879
2	0.5	0.866	1	1	1
3	0.766	0.643	1.532	1	0.653
4	0.94	0.342	1.879	1	0.532

$$G(\omega) := \left[ \frac{C_0}{j \cdot \omega + C_0} \right]^r \cdot \prod_k \left[ \frac{C_k}{(j \cdot \omega)^2 + B_k \cdot j \cdot \omega + C_k} \right]$$

$$\omega := 0, 0.01 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik xarakteristika



Faz - tezlik xarakteristika

$n = 9$  qiymətə uyğun  $\Omega$  tə'yin olunur.  $\Omega = 1.291$  qiymət alır və buna uyğun  $\omega = 291.012 \leq 300$  Hz tə'min olunur. "mod(n,2)" funksiyası ilə  $n$  tək ədəd olduqda  $r = 1$ , cüt ədəd olduqda  $r = 0$  qiymətlər alır. Bizim halda  $n$  təkdir və  $r = 1$  qiymət alır.  $n = 9$  qiymətə uyğun ötürmə funksiyası bir ədəd birinci tərtib və dörd ədəd ikinci tərtib polinomial süzgeç mənzillərindən ibarətdir. Süzgeç mənzillərinə uyğun kompleks qütblər  $-\lambda_k$  və ədədi əmsallar  $C_0, B_k, C_k$  və mənzillər üzrə keyfiyyətlik əmsalları  $Q_k = \sqrt{C_k/B_k}$  qiymətləndirilir. Normallaşdırılmış ötürmə funksiyasının ifadəsi tərtib olunur, ATX və FTX-nin təsvirləri qurulur.

Normallaşdırılmış qiymətlərdən məxsusi qiymətlərə keçmək üçün  $\omega := \omega/\omega_c$ ,  $G(\omega) := G(\omega) \cdot \prod_k K_k$  əvəzləmələri aparılır.  $K_k$ -mənzillər üzrə paylaşıdırılmış gücləndirmə əmsallarıdır. Verilən tələblərə uyğun ötürmə funksiyasının əmsalları  $C_0 = c_0 \cdot \omega_c$ ,  $B_k = b_k \cdot \omega_c$  və  $C_k = c_k \cdot \omega_c^2$  kimi hesablanırlar.

Aşağı tezlikli Çebişev süzgeç üçün də ötürmə funksiyası (1.2.2) ifadəsile tə'yin olunur. Çebişev süzgeç üçün xarakterik cəhət ATX-nin dəyişməsinin buraxma zolağında bərabər döyünən, saxlama zolağında isə monoton olmasıdır. Çebişev süzgecin ötürmə funksiyasının kompleks qütbləri və süzgeç mənzillərinin ötürmə funksiyalarına uyğun  $C_0, B_k$  və  $C_k$  - əmsalları (1.2.8) və (1.2.9) ifadələri ilə tə'yin olunurlar:

$$\lambda_k = -0.5(\varepsilon - \varepsilon^{-1}) \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n} + j \cdot 0.5(\varepsilon + \varepsilon^{-1}) \cos \frac{(2k-1)\pi}{2n}, \quad (1.2.8)$$

burada 
$$\varepsilon = \sqrt[2n]{\frac{10^{0.05\alpha_1} + 1}{10^{0.05\alpha_2} - 1}};$$

$$C_0 = \operatorname{Re}(\lambda_k)_{n=1}; \quad B_k = 2 \cdot \operatorname{Re}(\lambda_k); \quad C_k = |\lambda_k|^2. \quad (1.2.9)$$

Polinomial süzgeçlər içərisində ən optimalı Çebişev süzgeçidir. Onun ATX-sinin ifadəsi aşağıdakı kimidir:

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 C_n^2(\omega/\omega_c)}}, \quad (n=1, 2, 3, \dots), \quad (1.2.10)$$

burada  $\varepsilon$  və  $K$ - sabit ədədlər,  $C_n(\omega/\omega_c)$  -  $n$ -tərtibli Çebişev polinomudur:

$$C_n(x) = \cos(n \cdot \arccos(x)). \quad (1.2.11)$$



Normallasdırılmış süzgeç için ( $K=1$  ve  $\omega_c=1$  rad/san) buraxma zolağında sabit amplitutlu pulsasiyaların hüdudu

$$\delta = 1 - \frac{1}{1 + \varepsilon^2} \quad (1.2.12)$$

kimi təyin olunur. Pulsasiyaların sayı isə süzgecin tertibi qədərdir. Pulsasiyaların  $\delta$  - hüdudunu  $\varepsilon$  - nu seçmə yolu ilə azaltmaq mümkündür. Süzgecin işlənilməsində tələb  $\alpha_1$ -in qiymətinə qoyulur, onda

$$\alpha_1 = -20 \log(1 - \delta) = 10 \log(1 + \varepsilon^2);$$

$$\varepsilon = 10^{0.1\alpha_1} - 1 \quad (1.2.13)$$

alırıq. Qeyd edək ki,  $\alpha_1 = 3$  dB olduqda  $\varepsilon = 0,99763 \approx 1$  olur, bu hala uyğun kəsilmə tezliyi

$$\omega_c = \omega(3dB) = \text{sh} \left( \frac{1}{n} \text{ arch} (1/\varepsilon) \right) \quad (1.2.14)$$

kimi təyin olunur. Verilən tələblərə uyğun Çebışev süzgeç üçün tertibin seçilməsində (1.2.10) ifadəsindən istifadə olunur:

$$n = \frac{\lg(x + \sqrt{x^2 - 1})}{\lg(\Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1})}; \quad \Omega = \omega_1 / \omega_c;$$

$$x = \sqrt{(10^{0.1\alpha_2} - 1) / (10^{0.1\alpha_1} - 1)} \quad (1.2.15)$$

Məsələ 1.2.1.- də verilənlərdən istifadə etsek, aşağı tezlikli süzgeç üçün  $n = 3.95$  (tam şəkildə  $n = 4$ ) alırıq. Göründüyü kimi, eyni tələblərə cavab verən Çebışev süzgecin tertibi Battervort süzgecin tertibindən iki dəfə kiçikdir. Deməli, əsas olaraq ATX götürülərsə, Çebışev süzgeci reallaşdıran prinsiplial - elektrik sxem daha sadə olar.

Məsələ 1.2.2.  $\alpha_1 = 0.5$  dB,  $\alpha_2 = 37$  dB,  $f_c = 3500$  Hs,  $f_1 = 4400$  Hs - verilənlər əsasında aşağı tezlik Çebışev süzgecin ötürmə funksiyasını tertib etməli.

Həlli: "Math Cad" tətbiqi proqramlır paketindən istifadə ilə alınan nəticələr "Chebtshev - AT" proqramının mətnində verilmişdir.  $f_1$  tezliyi  $f_c$ -yə görə normallasdırılır və  $n = 8.546$  qiymətləndirilir. Süzgecin tertibi tam olmalıdır və  $n = 9$  götürülür. Tertib tek ədəddir və  $r = 1$  qəbul olunur.  $n = 9$  -a uyğun  $\Omega$  - təyin olunur,  $f_1 = f_c \Omega$  və  $\omega = f_1 - f_c$  qiymətləndiri-

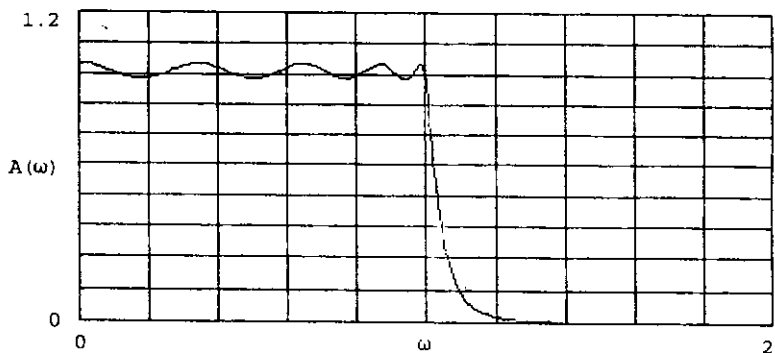


$$G(\omega) := \left[ \frac{C}{j \cdot \omega + C} \right]^r \cdot \prod_k \left[ \frac{C}{(j \cdot \omega)^2 + \frac{B}{k} \cdot j \cdot \omega + \frac{C}{k}} \right]$$

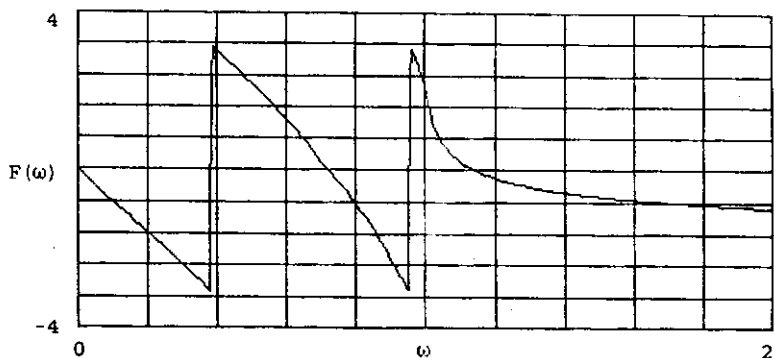
$$\omega := 0, 0.01 \dots 2$$

$$A(\omega) := |G(\omega)|$$

$$F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik xarakteristika



Faz - tezlik xarakteristika

lır. Kompleks qütblerin və ədədi əmsalların qiymətləri cədvəldə verilir. Ötürmə funksiyasının normallaşdırılmış ifadəsi tərtib olunur. ATX və FTX-nın təsvirləri qurulur. Normallaşdırılmış ifadədə  $\omega = \omega/\omega_c$  əvəz olunur və tələb olunan süzgeçə uyğun  $C_0 = c_0 \cdot \omega_c$ ,  $B_k = c_k \cdot \omega_c$ ,  $C_k = c_k \cdot \omega_c^2$  əmsallar qiymətləndirilir. Tələb olunan süzgeç bir ədəd birinci tərtib və dörd ədəd ikinci tərtib manqadan ibarətdir.

### 1.3. Aşağı tezlikli invers Çebışev və elliptik süzgeç və manqalarının ötürmə funksiyalarının təhlili

Invers Çebışev və elliptik süzgeçlər qeyri-polinomialdırlar. Ümumi şəkildə ötürmə funksiyaları (1.1.1) tənliyi ilə ifadə olunur. Bir və iki tərtibli süzgeç manqalarına uyğun ötürmə funksiyalarının basitli şəkildə isə aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$G(S) = \frac{K_0 \cdot C_0}{S + C_0} \prod_{k=1}^{(n-1)/2} \frac{K_k C_k A_k^{-1} (S^2 + A_k)}{S_k^2 + B_k S + C_k}, \quad (n=2,3,4,\dots). \quad (1.3.1)$$

Süzgecin tərtibi tək olduqda  $r = 1$ , cüt olduqda  $r = 0$  götürülür.  $C_0$ ,  $A_k$ ,  $B_k$  və  $C_k$  əmsallarının qiymətləri süzgecin tərtibindən ( $n$ ), kəsilmə ( $\omega_c$ ) və saxlama ( $\omega_1$ ) tezliklərinə uyğun signal səviyyələrindən ( $\alpha_1$  və  $\alpha_1$ ), ATX-nın buraxma və saxlama zolaqlarda dəyişmə xarakterindən, yəni süzgecin növündən asılıdır.  $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \dots$  gücləndirmə əmsalı manqalar üzrə paylaşdırılır.

Aşağı tezlikli invers Çebışev süzgeç üçün ATX-nın dəyişməsi buraxma zolağında monoton, saxlama zolağında isə bərabər döyünəndir. ATX-nın belə dəyişməsini təmin etmək üçün (1.3.1) ifadəsində funksiyaların sıfırları  $t_k(G(S) = 0)$  və qütbləri  $\lambda_k(G(S) = \infty)$  aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$t_k = \frac{\Omega}{\cos \frac{(2k-1)\pi}{2n}}; \quad (1.3.2)$$

$$\lambda_k = \frac{\Omega}{-0,5(\beta - \frac{1}{\beta}) \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n} \pm j \cdot 0,5(\beta + \frac{1}{\beta}) \cos \frac{(2k-1)\pi}{2n}} \quad (1.3.3)$$

(1.3.2) ve (1.3.3) ifadelerinde

$$\Omega = \omega_1 / \omega_c; \quad \beta = \left[ \frac{10^{0,05\alpha_1} + (10^{0,1\alpha_1 - 1})^{0,5}}{10^{0,05\alpha_1} - (10^{0,1\alpha_1 - 1})^{0,5}} \right]^{1/2n} \quad (1.3.4)$$

te'yin olunmuştur. Ötürme fonksiyasının sıfırları ve qütblerinin qiymetlerine göre ededi əmsallar aşağıdaki kimi te'yin olunurlar:

$$C_{o, k} = \operatorname{Re}(\lambda_{k, n-1}); \quad A_k = t_k; \quad B_k = 2 \operatorname{Re}(\lambda_k); \quad C_k = |\lambda_k|^2 \quad (1.3.5)$$

Verilen təblər əsasında aşağı tezlikli invers Çebişev süzgecə uyğun tərtib Çebişev süzgecdəki kimidir və (1.2.15) ifadəsilə te'yin olunur. Süzgec mənzələri üçün normallaşdırılmış  $C_o$ ,  $A_k$ ,  $B_k$  və  $C_k$  - ededi əmsalların qiymətləri mə'lumat kitabçalarındakı uyğun cədvəllərdən də seçilə bilərlər [2,3].

Aşağı tezlikli invers Çebişev süzgec üçün ATX

$$A(\omega) = \frac{\varepsilon \cdot C_n(\omega_1/\omega)}{(1 + \varepsilon^2 \cdot C_n^2(\omega_1/\omega))^{0,5}} \quad (1.3.6)$$

kimidir. Burada  $\varepsilon < 0$  sabit edəd,  $C_n$  - n tərtibli Çebişev polinomudur (1.2.11).  $\alpha_1 = 3$  dB səviyyəsinə uyğun kəsilmə tezliyini (1.3.6) ifadəsinə əsasən

$$\omega_c = \frac{\omega_1}{\operatorname{ch} \left[ \frac{1}{n} \operatorname{arch} \left( \frac{1}{\varepsilon} \right) \right]} \quad (1.3.7)$$

kimi te'yin olunur,  $\varepsilon$  - ededi signalı saxlama zolağında döyünmələrinin səviyyəsini te'yin edir və belə döyünmələrin sayı süzgecin tərtibi qədərdir.

Məsələ 1.3.1.  $\alpha_1 = 3$  dB,  $\alpha_2 = 30$  dB,  $f_c = 1000$  Hz,  $f_1 = 1200$  Hz verilənlər əsasında aşağı tezlikli invers Çebişev süzgecin ötürmə funksiyasını tərtib etməli.

Həll: "Math Cad" tətbiqi proqramlar paketində alınan nəticələr "Invers Chebshen - AT" proqramının mətnində verilmişdir.  $\Omega = 1,2$  və  $n = 6,666$  qiymətləndirilir və  $n = 7$  götürülür. Tərtib təkdir və ötürmə funksiyası bir ədəd birinci tərtib və üç ədəd ikinci tərtib mənzəllərdən ibarətdir. Ötürmə funksiyasına uyğun sıfırlar ( $t_k$ ) və kompleks qütblər ( $\lambda_k$ ) hesablanır və cədvəldə verilir. Ötürmə funksiyası tərtib olunur, ATX və FTX-nin təsvirləri qurulur.

Elliptik növ (Zolotaryov - Kauer) süzgeç qeyri-polinomial süzgecin digər növüdür. Süzgeç üçün xarakterik cəhət ATX-də bərabər dəyişmələrin (pulsasiyaların) həm buraxma, həm də saxlama zolağında olmasıdır.  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$ -siqnal səviyyələri, uyğun olaraq, buraxma və saxlama zolaqlarında siqnalın ötürülməsinin qeyri-müntəzəmlik parametrləri adlanırlar.  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$ -nin verilmiş qiymətlərində pulsasiyaların sayı süzgecin tərtibi qədərdir və tərtib yüksək olduqda  $\omega_0 = \omega_1 - \omega_2$  keçidin eni az olur. Digər süzgeçlərlə müqayisədə  $\omega_0$  elliptik süzgeçlərdə daha az tərtibdə tə'min olunur. Məsələn,  $\alpha_1 = 0,1$  dB,  $\alpha_2 = 60$  dB,  $\omega_c = 1$  rad/san və  $\omega_0 = 0,1$  halını tə'min edən Çebişev süzgecin minimum tərtibi  $n = 22$ , elliptik süzgecin minimum tərtibi isə  $n = 10$  - dur.

Elliptik süzgecin ötürmə funksiyası invers Çebişev süzgeçdə olduğu kimi (1.3.1) ifadəsile yazılır. Lakin ötürmə funksiyasının sıfırları, qütbləri və tərtibi ATX - yə qoyulan tələbə uyğun həm buraxma, həm də saxlama zolaqlarda pulsasiyaların olması şərtlərinə əsasən tə'yin olunurlar.

Elliptik süzgeç mənzəlləri üçün  $G_u$ ,  $A_k$ ,  $B_k$  və  $C_k$  əmsallarının qiymətlərinin [2, əlavə V,Q] və ya [3, cədvəl 3.6] mə'lumat kitablarından götürülməsi daha əlverişlidir.

Məsələ 1.3.2.  $\alpha_1 = 0,1$  dB,  $\alpha_2 = 30$  dB,  $f_c = 1000$  Hz,  $\omega_0 \leq 100$  Hz,  $K = 10$  tələblərə uyğun elliptik süzgecin ötürmə funksiyasının qurulması tələb olunur.

1) Ötürmə funksiyasının qurulmasını [2, əlavələr Q və V] cədvəllərindən qiymətlər seçməklə aparaq.

$\omega_0$  - üçün normallaşdırılmış qiymət  $\omega_n = 100/1000 = 0,1$

Invers Cebishev - AT

$$\alpha_1 := 1.0 \text{ dB} \quad \alpha_2 := 25 \text{ dB} \quad f_c := 3000 \text{ Hz} \quad \omega_0 := 500 \text{ Hz}$$

$$\Omega := \frac{f_c + \omega_0}{f_c} \quad x := 10^{0.1 \cdot \alpha_2} \quad y := 10^{0.1 \cdot \alpha_1} \quad c := \sqrt{\frac{x-1}{y-1}}$$

$$n(\Omega) := \frac{\log \left[ c + \sqrt{c^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]} \quad \beta_1 := \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-1}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-1}}$$

$$\Omega = 1.167 \quad j := 0 + i \quad n(\Omega) = 7.453 \quad n_1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n_1, \Omega) \quad \omega_0 := f_c \cdot (\Omega - 1) \quad n := n_1$$

$$r := \text{mod}(n_1, 2) \quad r = 0 \quad n = 8 \quad \Omega = 1.144$$

$$\beta := \beta_1 \quad \frac{1}{2 \cdot n} \quad \tau_0 = 500 \quad \tau_0 = 432.403 \quad k := 1 \dots \frac{n-r}{2}$$

$$\phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$C_0 := \Omega \cdot \left[ 0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \right]^{-1} \quad C_0 = 2.48 \quad t_k := \Omega \cdot \left[ \cos[\phi_k] \right]^{-1}$$

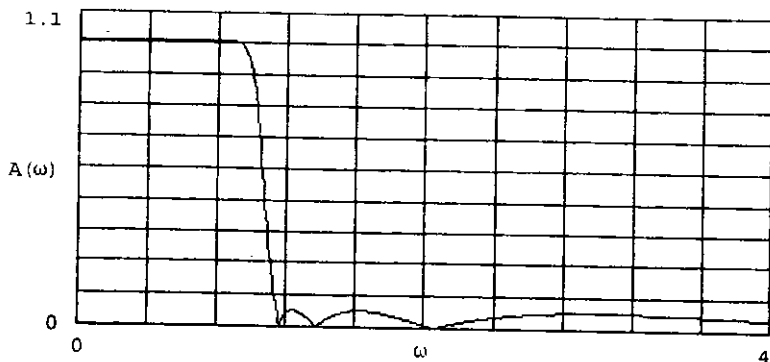
$$\lambda_k := \Omega \cdot \left[ -0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \cdot \sin[\phi_k] + j \cdot 0.5 \cdot \left[ \beta + \beta^{-1} \right] \cdot \cos[\phi_k] \right]^{-1}$$

$$A_k := t_k^2 \quad B_k := 2 \cdot \left| \text{Re}[\lambda_k] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

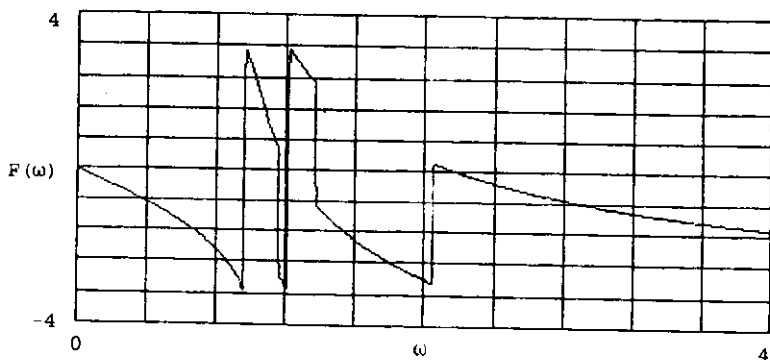
k	Re $[\lambda_k]$	Im $[\lambda_k]$	t <sub>k</sub>	A <sub>k</sub>	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k \cdot k}}^{-1}$
1	-0.088	-1.052	1.167	1.361	0.175	1.114	6.022
2	-0.324	-1.159	1.376	1.893	0.649	1.448	1.855
3	-0.842	-1.342	2.059	4.24	1.683	2.51	0.941
4	-2.064	-0.98	5.865	34.394	4.127	5.218	0.554

$$G(\omega) := \left[ \begin{array}{c} C \\ 0 \\ j \cdot \omega + C \\ 0 \end{array} \right]^r \cdot \prod_k \frac{\left[ (j \cdot \omega)^2 + A \right] \cdot C \cdot A^{-1}}{(j \cdot \omega)^2 + B \cdot j \cdot \omega + C} \cdot \frac{k}{k}$$

$$\omega := 0, 0.01 \dots 4 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika



hesablanır. Əlavə Q-dən  $\omega_n = 0,1025$  qiymətinə uyğun  $n=7$ -dir. Deməli,  $\omega \leq 100$  tələbini ödəmək üçün  $n=7$  seçilməlidir. Əlavə V-dən  $n=7$ ;  $\alpha_1 = 0,1$ ;  $\alpha_2 = 30\text{dB}$ ;  $\omega = 0,0479$  qiymətlərinə uyğun A, B, C əmsalları seçilir:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1,112775; & B_1 &= 0,722673; & C_1 &= 0,764652; & C_0 &= 0,704469; \\ A_2 &= 2,677955; & B_2 &= 0,192302; & C_2 &= 0,970795; \\ A_3 &= 1,298987; & B_3 &= 0,035531; & C_3 &= 1,025709; \end{aligned}$$

Deməli, tələb olunan elliptik süzgeç bir ədəd birinci tertib maneə və üç ədəd ikinci tertib maneədən ibarət olmalıdır.  $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 5$  kimi seçmək olar.

$$G(S) = \frac{K_0 \cdot C_0 \cdot \omega_c}{S + C_0 \omega_c} \prod_{k=1}^n \frac{(K_k \cdot C_k / A_k)(S^2 + A_k \omega_c^2)}{S^2 + B_k \omega_c S + C_k \omega_c^2}$$

Tələb olunan elliptik süzgecin amplitud-tezlik və faz-tezlik karakteristikalarının təsvirləri "Elliptik - AT" proqramının mətnində verilmişdir. Buraxma və udma zolaqlarında pulsasiyaların həddlərinin təsvirləri uyğun diapazonlarda göstərilir.

2) Ötürmə funksiyası üçün ədədi əmsalların [3, cədvəl 3.6] əsasında təyinine baxaq. Verilənlərə uyğun olaraq  $\Omega = \omega_1 / \omega_c = (\omega + \omega_c) / \omega_c = 1100/1000 = 1,1$  təyin edirik. Cədvəl 3.6-dən  $\alpha_{\min} = 30 \text{ dB}$ ,  $\alpha_{\max} = 0,1 \text{ dB}$  və  $\Omega = 1,04794 < 1,1$  qiymətlərinə uyğun  $n = 7$  seçirik. Ötürmə funksiyasının sınırlarını və qütblərini qeyd edərək  $A_k = t_k^2$ ,  $B_k = -2 \cdot \Sigma_k$ ,  $C_k = \Sigma_k^2 + \Omega_k^2$  kimi hesablayırıq. Nəticələr cədvəl 1.3.1-də verilmişdir.

Cədvəl 1.3.1

tert.	maneə	$\Sigma_k$	$\Omega_k$	$t_k$	$A_k$	$B_k$	$C_k$
I	1	0,7044	-	-	-	-	-
II	1	0,7913	0,9903	1,0549	1,1128	0,7227	0,7646
	2	-0,0178	1,0126	1,1397	1,2989	0,0355	1,0257
	3	0,0961	0,9804	1,6364	2,6779	0,1923	0,9708

Elliptik (Zolotarev - Kauer) süzgeçlər üçün ötürmə funksiyalarının parametrlərinin [3, cədvəl 3.6]- dan seçilmiş qiymətləri cədvəl 1.3.2 - də və cədvəl 1.3.3 -də verilmişdir.

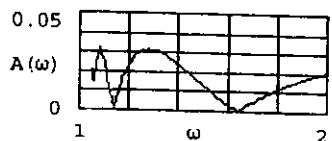
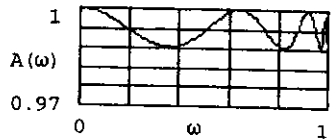
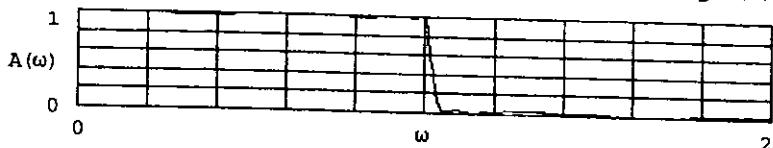
# Elliptik - AT

$\alpha_1 := 0.1 \text{ dB}$      $\alpha_2 := 30 \text{ dB}$      $f_c := 1000 \text{ Hz}$      $\omega_c := 100 \text{ Hz}$   
 $n := 7$      $r = 1$

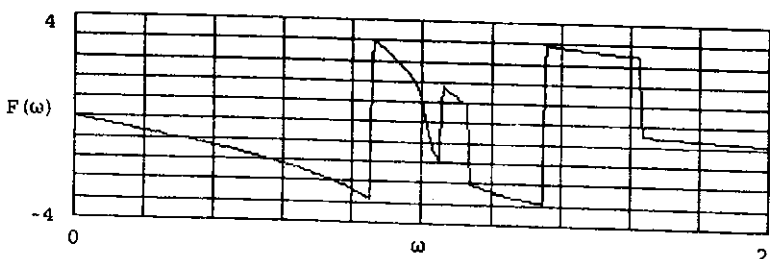
k	A <sub>k</sub>	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	C <sub>0</sub> = 0.704 0
1	1.113	0.723	0.765	
2	2.678	0.192	0.971	
3	1.299	0.036	1.026	

$$G(\omega) := \left[ \begin{array}{c} C_0 \\ j \cdot \omega + C_0 \end{array} \right]^r \cdot \prod_k \frac{[(j \cdot \omega)^2 + A_k] \cdot C_k \cdot A_k^{-1}}{(j \cdot \omega)^2 + B_k \cdot j \cdot \omega + C_k}$$

$\omega := 0, 0.01 \dots 2$      $A(\omega) := |G(\omega)|$      $F(\omega) := \arg(G(\omega))$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Elliptik (Zolotarev - Kauer) süzgecin ötürmə funksiyasının parametrləri ( $\lambda_k = -\text{Re}(\lambda_k) + j \cdot \text{Im}(\lambda_k)$ ).

n	$\alpha_{\min} = 30\text{dB}, \alpha_{\max} = 0.1\text{dB}$			$\alpha_{\min} = 30\text{dB}, \alpha_{\max} = 1.0\text{dB}$			$\alpha_{\min} = 30\text{dB}, \alpha_{\max} = 3.0\text{dB}$		
	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$
2	0.8852	1.1654	1.4039	5.5509	0.5385	0.9111	4.0113	0.3141	0.7942
3	-	1.0594	-	-	0.5596	-	-	0.3523	-
	2.8036	0.4183	1.2157	1.9536	0.2053	0.9869	1.6233	0.1168	0.9351
4	1.6221	0.1772	1.1090	1.3103	0.0828	0.9989	1.1891	0.0432	0.9779
	3.5592	0.6964	0.6092	2.6713	0.3819	0.5385	2.2789	0.2399	0.5358
5	-	0.7612	-	-	0.4506	-	-	0.3013	-
	1.2616	0.0805	1.0538	1.1171	0.0338	1.0003	1.0647	0.0158	0.9922
	1.7798	0.3860	0.8613	1.4688	0.2009	0.8085	1.3320	0.1165	0.8149
6	1.1171	0.0374	1.0261	1.0460	0.0138	1.0003	1.0227	0.0057	0.9972
	1.3130	0.1956	0.9506	1.1682	0.0914	0.9231	1.1081	0.0472	0.9311
	2.9845	0.5984	0.5149	2.4249	0.3501	0.4914	2.1455	0.2269	0.5057
7	-	0.7045	-	-	0.4339	-	-	0.2950	-
	1.0549	0.0178	1.0126	1.0187	0.0056	1.0001	1.0082	0.0021	0.9990
	1.1397	0.0961	0.9806	1.0658	0.0391	0.9688	1.0378	0.0178	0.9748
	1.6364	0.3613	0.7962	1.4119	0.1945	0.7790	1.3033	0.1143	0.7981
8	1.0257	0.0084	1.0060	1.0075	0.0023	1.0001	1.0029	0.0007	0.9996
	1.0644	0.0464	0.9919	1.0262	0.0162	0.9874	1.0134	0.0065	0.9909
	1.2617	0.1908	0.9160	1.1497	0.0904	0.9092	1.0994	0.0470	0.9242
	2.8732	0.5767	0.4958	2.3875	0.3448	0.4839	2.1291	0.2252	0.5019
9	-	0.6919	-	-	0.4312	-	-	0.2942	-
	1.3124	0.0040	1.0029	1.0051	0.0009	1.0000	1.0011	0.0003	0.9997
	1.0305	0.0224	0.9963	1.0107	0.0067	0.9948	1.0048	0.0024	0.9967
	1.1180	0.0956	0.9634	1.0583	0.0391	0.9628	1.0349	0.0178	0.9722
	1.6067	0.3551	0.7821	1.4029	0.1933	0.7740	1.2997	0.1140	0.7959

n	$\alpha_{min} = 40dB, \alpha_{max} = 0.1dB$			$\alpha_{min} = 40dB, \alpha_{max} = 1.0dB$			$\alpha_{min} = 40dB, \alpha_{max} = 3.0dB$		
	$\tau_k$	$Re(\lambda_k)$	$Im(\lambda_k)$	$\tau_k$	$Re(\lambda_k)$	$Im(\lambda_k)$	$\tau_k$	$Re(\lambda_k)$	$Im(\lambda_k)$
2	16.896	1.1788	1.3886	9.6423	0.5456	0.9004	6.9810	0.3194	0.7826
3	-	1.0097	-	-	0.5237	-	-	0.3225	-
	4.0422	0.4532	1.2115	2.7583	0.2273	0.9766	2.2431	0.1337	0.9194
4	2.0565	0.2119	1.1160	1.6057	0.1051	0.9938	1.4180	0.0592	0.9666
	4.7001	0.6733	0.5429	3.5147	0.3644	0.4791	2.9906	0.2270	0.4713
5	-	0.6705	-	-	0.3853	-	-	0.2509	-
	1.4690	0.1066	1.0636	1.2538	0.0499	0.9982	1.1660	0.0264	0.9857
	2.1724	0.4118	0.7934	1.7643	0.2191	0.7410	1.5809	0.1314	0.7420
6	1.2260	0.0550	1.0345	1.1131	0.0237	0.9994	1.0693	0.0116	0.9938
	1.5006	0.2362	0.9066	1.3057	0.1182	0.8755	1.2196	0.0663	0.8813
	3.6161	0.5464	0.4280	2.9582	0.3158	0.4106	2.6357	0.2036	0.4203
7	-	0.5939	-	-	0.3576	-	-	0.2382	-
	1.1136	0.0290	1.0186	1.0528	0.0113	0.9998	1.0300	0.0051	0.9973
	1.2420	0.1311	0.9558	1.1358	0.0601	0.9404	1.0912	0.0311	0.9466
	1.8926	0.3727	0.7016	1.6258	0.2039	0.6888	1.4958	0.1258	0.7056
8	1.0597	0.0153	1.0100	1.0246	0.0054	1.0000	1.0130	0.0022	0.9988
	1.1219	0.0711	0.9784	1.0623	0.0295	0.9717	1.0388	0.0140	0.9764
	1.3956	0.2265	0.8502	1.2562	0.1155	0.8458	1.1906	0.0653	0.8622
	3.3775	0.5124	0.4004	2.8513	0.3048	0.3961	2.5753	0.1991	0.4109
9	-	0.5734	-	-	0.3515	-	-	0.2358	-
	1.0317	0.0082	1.0054	1.0118	0.0026	1.0000	1.0057	0.0010	0.9995
	1.0637	0.0335	0.9890	1.0294	0.0143	0.9865	1.0169	0.0063	0.9896
	1.1945	0.1295	0.9237	1.1150	0.0598	0.9250	1.0796	0.0310	0.9375
	1.8245	0.3605	0.6772	1.5974	0.2025	0.6770	1.4806	0.1246	0.6985

Çedvəl 1.3.2 (davamı)

ii	$\alpha_{\min} = 50\text{dB}, \alpha_{\max} = 0.1\text{dB}$			$\alpha_{\min} = 50\text{dB}, \alpha_{\max} = 1.0\text{dB}$			$\alpha_{\min} = 50\text{dB}, \alpha_{\max} = 3.0\text{dB}$		
	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$	$\tau_k$	$\text{Re}(\lambda_k)$	$\text{Im}(\lambda_k)$
2	28.140	1.1819	1.3823	16.498	0.5478	0.8970	12.068	0.3210	0.7788
3	-	0.9868	-	-	0.5077	-	-	0.3093	-
	5.8797	0.4694	1.2082	3.9746	0.2378	0.9711	3.2023	0.1418	0.9112
4	2.6562	0.2333	1.1190	2.0334	0.1193	0.9898	1.7647	0.0698	0.9587
	6.2151	0.6579	0.5079	4.6409	0.3530	0.4471	3.9411	0.2181	0.4361
5	-	0.6183	-	-	0.3479	-	-	0.2220	-
	1.7549	0.1262	1.0697	1.4579	0.0626	0.9960	1.3294	0.0352	0.9798
	2.6790	0.4234	0.7479	2.1523	0.2271	0.6949	1.9123	0.1380	0.6909
6	1.3797	0.0703	1.0409	1.2201	0.0331	0.9983	1.1522	0.0177	0.9901
	1.7425	0.2627	0.8698	1.4910	0.1363	0.8350	1.3761	0.0795	0.8370
	4.3691	0.5087	0.3764	3.5850	0.2899	0.3606	3.2043	0.1851	0.3662
7	-	0.5245	-	-	0.3095	-	-	0.2026	-
	1.2059	0.0400	1.0239	1.1123	0.0176	0.9992	1.0740	0.0089	0.9950
	1.3779	0.1589	0.9307	1.2366	0.0779	0.9112	1.1736	0.0431	0.9157
	2.1957	0.3712	0.6326	1.8799	0.2068	0.6202	1.7255	0.1281	0.6326
8	1.1134	0.0228	1.0139	1.0578	0.0093	0.9996	1.0362	0.0045	0.9975
	1.2020	0.0940	0.9626	1.1188	0.0430	0.9528	1.0830	0.0225	0.9573
	1.5571	0.2475	0.7914	1.3889	0.1511	0.7866	1.3078	0.0772	0.8010
	3.9343	0.4628	0.3407	3.3535	0.2725	0.3384	3.0534	0.1768	0.3496
9	-	0.4955	-	-	0.2991	-	-	0.1979	-
	1.0646	0.0132	1.0081	1.0306	0.0050	0.9998	1.0181	0.0022	0.9988
	1.1129	0.0554	0.9792	1.0618	0.0235	0.9748	1.0410	0.0115	0.9783
	1.2907	0.1558	0.8817	1.1906	0.0771	0.8826	1.1439	0.0428	0.8957
	2.0666	0.3520	0.5975	1.8141	0.2002	0.5995	1.6842	0.1252	0.6180

Elliptik (Zolotarev - Kauer) süzgeçlər üçün signalın saxlama təzliyinin normallaşdırılmış qiymətləri ( $\Omega = \Omega(\alpha_{\min}, \alpha_{\max}, n)$ ).

n	$\alpha_{\min} = 30$ dB			$\alpha_{\min} = 40$ dB			$\alpha_{\min} = 50$ dB		
	$\alpha_{\max}$ , dB			$\alpha_{\max}$ , dB			$\alpha_{\max}$ , dB		
	0.1	1.0	3.0	0.1	1.0	3.0	0.1	1.0	3.0
2	7.0079	3.9573	2.8816	11.958	6.8365	4.9618	19.905	11.677	8.5483
3	2.4549	1.7325	1.4572	3.5189	2.4162	1.9789	5.1044	3.4607	2.7966
4	1.5267	1.2491	1.1444	1.9206	1.5120	1.3441	2.4697	1.8999	1.6557
5	1.2258	1.0905	1.0501	1.4175	1.2187	1.1391	1.6851	1.4072	1.2881
6	1.1019	1.0378	1.0177	1.2030	1.0982	1.0584	1.3481	1.1976	1.1343
7	1.0479	1.0154	1.0064	1.1044	1.0460	1.0254	1.1899	1.1013	1.0656
8	1.0225	1.0062	1.0023	1.0541	1.0215	1.0110	1.1049	1.0522	1.0321
9	1.0108	1.0026	1.0008	1.0287	1.0103	1.0048	1.0599	1.0277	1.0161

QEYD: Süzgeçlər üçün ötürmə funksiyaların işlənilməsində prototip kimi normallaşdırılmış aşağı tezlik süzgeç mənzəqlərindən istifadə daha əlverişlidir. Belə mənzəqlər üçün süzgecin növünə, tərtibinə uyğun əmsallar və parametrlər cədvəllər və ya qrafiklər şəklində müxtəlif mə'lumat kitablarında verilir. Hesablamaları sadələşdirmək və vaxta qənaət etmək məqsədilə [2,3] mə'lumat kitablarında tərtib olunmuş cədvəllərdən istifadə etmək əlverişlidir. Tə'yin olunan A, B və C əmsalları aşağı tezlikli prototip mənzəqlərinin ötürmə funksiyalarının aşağıdakı ifadələrində istifadə olunurlar:

1. Battərvort, Çebışev, Invers Çebışev və elliptik süzgeçlərin aşağı tezlikli birinci tərtib mənzəqləri:

$$G(S) = \frac{K \cdot C \cdot \omega_c}{S + C \cdot \omega_c} \quad (1.3.8)$$

2. Battərvort və Çebışev süzgeçlərin aşağı tezlikli ikinci tərtib mənzəqləri:

$$G(S) = \frac{K \cdot C \cdot \omega_c'}{S^2 + B \cdot \omega_c \cdot S + C \cdot \omega_c^2} \quad (1.3.9)$$

3. Invers Çebişev ve elliptik süzgeçlerin aşağı tezlikli ikinci tertib manqaları:

$$G(S) = \frac{(K \cdot C/A) (S^2 + A \cdot \omega_c^2)}{S^2 + B \cdot \omega_c \cdot S + C \cdot \omega_c^2} \quad (1.3.10)$$

#### 1.4. Yuxarı tezlikli, buraxma zolaqlı ve rejektor süzgeç ve manqalarının ötürme funksiyalarının təhlili

Yuxarı tezlikli, buraxma zolaqlı və rejektor süzgeç və manqaları üçün ötürme funksiyaları prototip kimi götürülən aşağı tezlikli süzgeç manqasının ötürme funksiyasının ifadəsində  $s=j\omega$  dəyişənini uyğun ifadə ilə əvəz etməklə alınır.

Süzgeç və manqaların ötürme funksiyalarını normallaşdırmaq üçün istifadə olunan əvəzləmələr cədvəl 1.4.1-də, aşağı tezlikli prototiplərin və onlara uyğun süzgeç növlərinin manqalarının ötürme funksiyalarının normallaşdırılmış ifadələri cədvəl 1.4.2-də verilir. Cədvəllərdə AT-aşağı tezlikli (prototip), YT-yuxarı tezlikli, BZ - buraxma zolaqlı, R - rejektor süzgeçlər növü kimi işarələnib.

Prototipləri birinci tertib, ikinci tertib polinomial və ikinci tertib qeyri-polinomial süzgeç və manqalarına uyğun yuxarı tezlikli süzgeç və manqaları üçün ötürme funksiyaları cədvəl 1.4.2-də (4), (5) və (6) ifadələri ilə təyin olunurlar.

Yuxarı tezlikli süzgecin prototipinin normallaşdırılmış saxlama tezliyi

$$\Omega = \frac{\omega_c}{\omega_1} = \frac{1}{1 - t\omega_1 \cdot \omega_c^{-1}} \quad (1.4.1)$$

yuxarı tezlikli süzgecin  $t\omega_1$  və prototipin normallaşdırılmış

$to = \Omega - 1$  - keçid oblastlarının enləri arasındakı münasibət

$$to_1 = \frac{to}{1 + to} \cdot \omega_c \quad (1.4.2)$$

kimidir. Qeyd edək ki,  $\omega_c$ ,  $to$  və  $to_1$  - həm rad/san ilə, həm də Hz-  
lə ifadə oluna bilər. Yuxarı tezlikli süzgeçlərin  
xarakteristikası əsasən  $Q$  və  $\omega_c$  ilə xarakterizə olunur.  $Q$  və  $\beta$  -  
prototipə uyğun normallaşdırılmış əmsallardır.

Prototipdə olduğu kimi, yuxarı tezlikli süzgeç növləri üçün də  
ötürmə funksiyalarının ifadəsi verilənlər  $\omega_c$  - signalın kəsilmə  
tezliyi,  $\alpha_1 = \alpha_1(\omega_c)$  - buraxma zolağında ( $\omega_c \leq \omega < \infty$ ) signalın  
zəifləmə əmsalının maksimum həddi,  $\omega_1$  - signalı saxlama tezliyi  
və ya  $to_1 = \omega - \omega_1$  - keçid zolağının eni,  $\alpha_2 = \alpha(\omega_1)$  - signalın  
zəifləməsinin minimum həddi,  $K = A(\omega)$  - gücləndirmə əmsali və  
ATX - nin dəyişməsi xarakterinə uyğun süzgeç növü (Battervort,  
Çebisev, Invers Çebisev və elliptik) əsasında işlənir.

Cədvəl 1.4.1

Süzgeç və maqaların ötürmə funksiyalarını normallaşdırma  
ifadələri.

Süz- geç növü	$\Omega$	S
AT	$\omega_1 / \omega_c$	$S / \omega_c$
YT	$\omega_c / \omega_1$	$\omega_c / S$
BZ	$\frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}} \left( \frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2} \right)$	$\frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}} \left( \frac{S}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{S} \right)$
R	$\frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\omega_0} \left( \frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2} \right)^{-1}$	$\frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\omega_0} \left( \frac{S}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{S} \right)^{-1}$



Aktiv süzgeç ve mañqalarının ötürme funksiyalarının ifadeleri

Növl	I tertib	II tertib polinomial	II tertib q/polinomial		
1	2	3	4		
AT	$\frac{K \cdot U_0}{S + G_0} \quad (1)$	$\frac{K \cdot G}{S^2 + B \cdot S + C} \quad (2)$	$\frac{(K \cdot G \cdot A^{-1})(S^2 + A)}{S^2 + B \cdot S + C} \quad (3)$		
YT	$\frac{K \cdot S}{S + \omega_c / G_0} \quad (4)$	$\frac{K \cdot S^2}{S^2 + S \cdot B \cdot \omega_c / C + \omega_c^2 / C} \quad (5)$	$\frac{K \cdot (S^2 + \omega_c^2 / A)}{S^2 + S \cdot B \cdot \omega_c / C + \omega_c^2 / C} \quad (6)$		
BZ	$\frac{\rho \cdot \omega_0 \cdot S}{S^2 + \beta \cdot \omega_0 \cdot S + \gamma \cdot \omega_0^2} \quad (7)$		$\frac{\rho(S^2 + \alpha \cdot \omega_0^2)}{S^2 + \beta \cdot \omega_0 \cdot S + \gamma \cdot \omega_0^2} \quad (8)$		
	(9)	(10, a)	(10, b)	(11, a)	(11, b)
	$\rho = K \cdot \frac{C_0}{Q}$	$\rho_1 = K_1 \sqrt{\frac{C}{Q}}$	$\rho_2 = K_2 \sqrt{\frac{C}{Q}}$	$\rho_1 = K_1 \sqrt{\frac{C}{A}}$	$\rho_2 = K_2 \sqrt{\frac{C}{A}}$
	$\beta = K \cdot \frac{C_0}{Q}$	$\beta_1 = \frac{D}{E}$	$\beta_2 = \frac{1}{E \cdot D}$	$\alpha_1 = A1$	$\alpha_2 = A1^{-1}$
	$\gamma = 1$	$\gamma_1 = D^2$	$\gamma_2 = D^{-2}$	$\gamma_1 = D^2$	$\gamma_2 = D^{-2}$

1	2	3	4		
R	$\frac{\rho(S^2 + \alpha \cdot \omega_0^2)}{S^2 + \beta \cdot \omega_0 \cdot S + \gamma \cdot \omega_0^2} \quad (12)$				
	(13)	(14,a)	(14,b)	(15,a)	(15,b)
	$\rho=K$	$\rho_1=K_1$	$\rho_2=K_2$	$\rho_1=K_1$	$\rho_1=K_1$
	$\alpha=1$	$\alpha_1=1$	$\alpha_2=1$	$\alpha_1=A2$	$\alpha_2=A2^{-1}$
	$\beta = \frac{1}{C \cdot Q}$	$\beta_1 = \frac{D1}{E1}$	$\beta_2 = \frac{1}{(E1 \cdot D1)}$	$\beta_1 = \frac{D1}{E1}$	$\beta_2 = \frac{1}{(E1 \cdot D1)}$
	$\gamma=1$	$\gamma_1=D1^2$	$\gamma_2=D1^2$	$\gamma_1=D1^2$	$\gamma_2=D1^{-2}$
(16) $\omega_0$ (17)					
$E = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{1}{2} [C + 4 \cdot Q^2 + \sqrt{(C + 4 \cdot Q^2)^2 - (2 \cdot B \cdot Q)^2}]}$				$Q = \frac{\omega_0}{b\omega}$	
(18)					
$D = \frac{1}{2} \left[ \frac{B \cdot E}{Q} + \sqrt{\frac{(B \cdot E)^2}{Q^2} - 4} \right]$				$A1 = 1 + \frac{A + \sqrt{A^2 + 4 \cdot A \cdot Q}}{2 \cdot Q^2} \quad (19)$	
(20)					
$E1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{C}{2} [C + 4 \cdot C \cdot Q^2 + \sqrt{(C + 4 \cdot C \cdot Q^2)^2 - (2 \cdot B \cdot Q)^2}]}$				(22)	
(21)					
$D = \frac{1}{2} \left[ \frac{B \cdot E1}{Q \cdot C} + \sqrt{\frac{(B \cdot E1)^2}{(Q \cdot C)^2} - 4} \right]$				$A2 = 1 + \frac{A + \sqrt{1 + 4 \cdot A \cdot Q}}{2 \cdot A \cdot Q^2}$	

Məsələ 1.4.1.  $\alpha_1 = 3$  dB,  $\alpha_2 = 20$  dB,  $f_c = 1000$  Hs,  $\omega_0 \leq 300$  Hs verilənlərə uyğun yuxarı tezlikli Battervort süzgecin ötürmə funksiyasını tərtib etməli.

Həlli: "Math Cad" proqramlar paketində tərtib olunmuş "Batterwort - YT" proqramının mətnində hesablama nəticələri verilmişdir. (1.4.1) ifadəs ilə prototipin normallaşdırılmış  $\Omega$  - saxlama tezliyi qiymətləndirilir. Süzgecin tərtibi qiymətləndirilir və tam ədədə gətirilir ( $n = 7$ ). 7-ci tərtib prototipə uyğun  $\Omega = 1.389$  təşkil edir. Bu qiymətə əsasən prototipin keçid oblastının eni 388.741 Hs, yuxarı tezlikli süzgecin isə  $279.923 < 300$  Hs təşkil edir. Prototipə uyğun kompleks qütblər və ədədi əmsallar cədvəldə verilmişdir. Ötürmə funksiyasının ifadəsi, ATX və FTX-nin təsvirləri tezliyin  $\omega/\omega_c$  - gətirilmiş qiymətləri üçün tərtib edilmişdir.

Yuxarı tezlikli süzgeclərdən Çebışev və invers Çebışev növləri üçün ötürmə funksiyalarının tərtib edilməsinə dair nümunələr "Çebışev -YT" və "Invers Çebışev -YT" proqramlarının mətnində verilmişdir.

Buraxma zolaqlı süzgecin (şəkil 1.1,v) ötürmə funksiyasının ifadəsi uyğun aşağı tezlikli prototiplərin ötürmə funksiyalarında S - dəyişənini

$$\frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}} \left( \frac{S}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{S} \right) = \frac{S^2 + \omega_0^2}{b\omega \cdot S} = \frac{Q(S^2 + \omega_0^2)}{\omega_0 \cdot S} \quad (1.4.3)$$

ifadəs ilə əvəz etməklə alınır. Burada  $\omega_0$  - mərkəzi tezlik  $b\omega = \omega_{c2} - \omega_{c1}$  - buraxma zolağının eni,  $Q = \omega_0/b\omega$  - süzgecin keyfiyyətlik əmsalıdır. (1.4.3) əvəzləməsindən görüldüyü kimi buraxma zolaqlı süzgecin tərtibi uyğun aşağı tezlik prototipindən iki dəfə yüksəkdir və cüt ədəddir. Belə süzgec mərkəzi  $\omega_0$  - tezlikdən yuxarı tezliklərdə aşağı tezlikli süzgec,  $\omega_0$  - dan aşağı tezliklərdə isə yuxarı tezlikli süzgec kimi təsəvvür oluna bilər. Buna əsasən buraxma zolaqlı Battervort süzgec üçün ATX  $\omega_0$  - tezliyindən sağa və sola monotondur, Çebışev süzgec buraxma zolağında, invers Çebışev süzgec aşağı ( $0 < \omega < \omega_1$ ) və yuxarı ( $\omega > \omega_2$ ) saxlama zolaqlarında, elliptik süzgec isə həm buraxma,

Batterwort - YT

$$\alpha_1 := 3 \text{ dB} \quad \alpha_2 := 20 \text{ dB} \quad fc := 1000 \text{ Hz} \quad tw := 300 \text{ Hz}$$

$$h := 10 \quad 0.1 \cdot \begin{bmatrix} \alpha - \alpha \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \Omega := \left[ 1 - \frac{tw}{fc} \right]^{-1} \quad n(\Omega) := \left\lceil \frac{\log(2 \cdot h - 1)}{2 \cdot \log(\Omega)} \right\rceil$$

$$\Omega = 1.429 \quad n(\Omega) = 6.445 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad tw0 := fc \cdot (\Omega - 1) \quad tw1 := \frac{\Omega - 1}{\Omega} \cdot fc$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad r = 1 \quad n := n1 \quad n = 7 \quad tw = 300$$

$$k := 1 \dots \frac{n - r}{2} \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n} \quad tw0 = 388.741$$

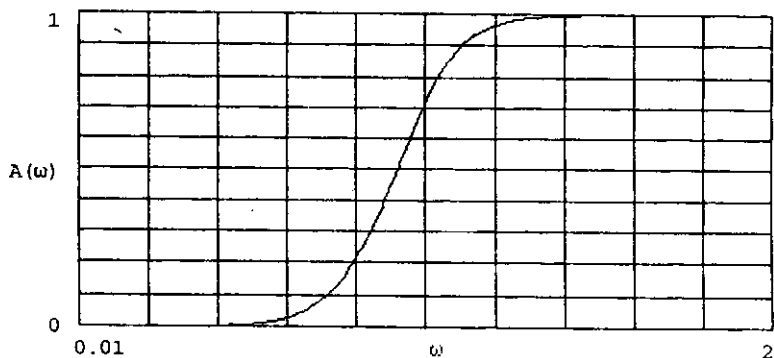
$$j := 0 + i \quad \Omega = 1.389 \quad \lambda_k := \sin[\phi_k] + j \cdot \cos[\phi_k] \quad tw1 = 279.923$$

$$C_0 := 1 \quad B_k := 2 \cdot \left| \text{Re} \left[ \frac{\lambda_k}{k} \right] \right| \quad C_k := \left[ \left| \frac{\lambda_k}{k} \right| \right]^2$$

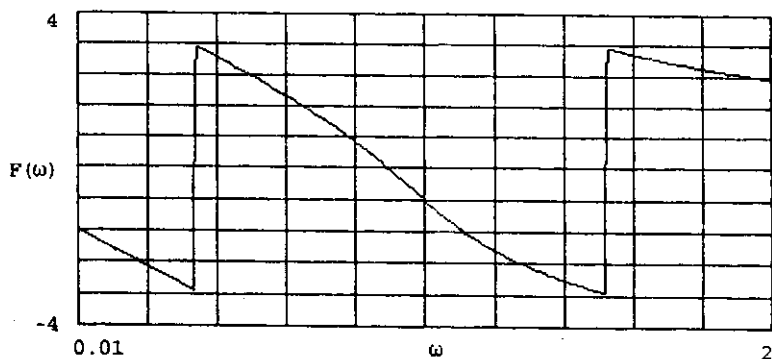
k	$\text{Re} \left[ \frac{\lambda_k}{k} \right]$	$\text{Im} \left[ \frac{\lambda_k}{k} \right]$	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k \cdot k}}^{-1}$
1	0.223	0.975	0.445	1	2.247
2	0.623	0.782	1.247	1	0.802
3	0.901	0.434	1.802	1	0.555

$$G(\omega) := \left[ \frac{j \cdot \omega}{j \cdot \omega + C} \right]^r \cdot \prod_k \left[ \frac{(j \cdot \omega)^2}{(j \cdot \omega)^2 + B \cdot j \cdot \frac{\omega}{k} + C} \right]$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Cebishev - YI

$$\alpha_1 := 2 \quad \text{dB} \quad \alpha_2 := 35 \quad \text{dB} \quad f_c := 20000 \text{ Hz} \quad \omega := 4000 \text{ Hz}$$

$$\Omega := \frac{f_c - \omega}{f_c} \quad \Omega := \Omega^{-1} \quad x := \frac{10^{0.1 \cdot \alpha_2} - 1}{10^{0.1 \cdot \alpha_1} - 1} \quad n(\Omega) := \frac{\log \left[ x + \sqrt{x^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]}$$

$$\Omega = 1.25 \quad j := 0 + i \quad n(\Omega) = 7.2 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad \omega := f_c \cdot (\Omega - 1) \quad \omega1 := \frac{\Omega - 1}{\Omega} \cdot f_c$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad n := n1 \quad n = 8 \quad \Omega = 1.201 \quad \omega = 4.019 \cdot 10^3 \quad k := 1 \dots \frac{n - r}{2}$$

$$\epsilon := \frac{10^{0.05 \cdot \alpha_1} + 1}{10^{0.05 \cdot \alpha_2} - 1} \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n} \quad C_0 := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}]$$

$$\lambda_k := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}] \cdot \sin[\phi_k] + j \cdot 0.5 \cdot [\epsilon + \epsilon^{-1}] \cdot \cos[\phi_k]$$

$$C_0 = 0.201$$

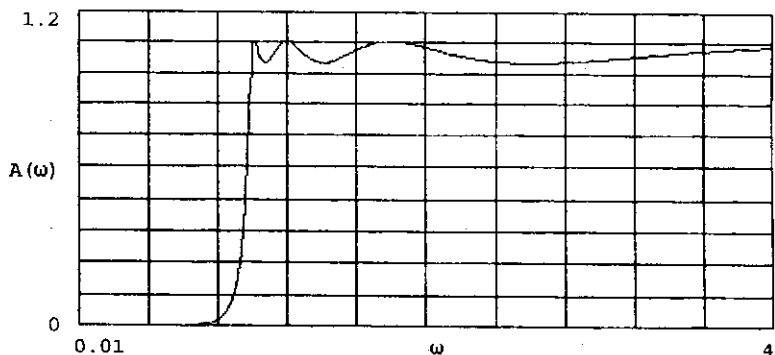
$$B_k := 2 \cdot \left| \text{Re}[\lambda_k] \right|$$

$$C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

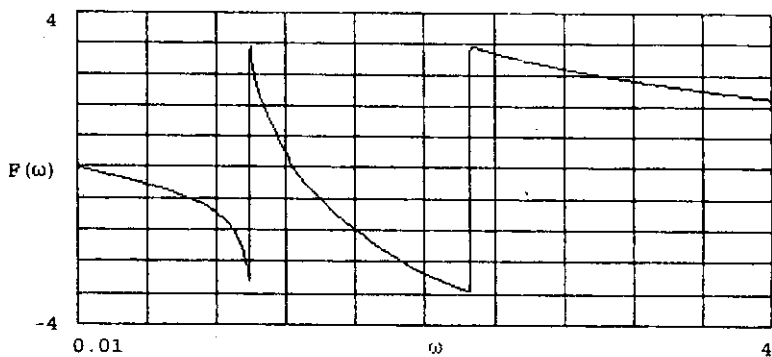
k	Re $\left[\lambda_k\right]$	Im $\left[\lambda_k\right]$	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\sqrt{\frac{C_k \cdot B_k}{k}}$
1	0.039	1	0.078	1.002	12.758
2	0.112	0.848	0.223	0.732	3.828
3	0.167	0.567	0.334	0.349	1.767
4	0.197	0.199	0.395	0.079	0.71

$$G(\omega) := \left[ \frac{j \cdot \omega}{j \cdot \omega + C} \right]^r \prod_k \left[ \frac{(j \cdot \omega)^2}{(j \cdot \omega)^2 + B \cdot j \cdot \frac{\omega}{k} + \frac{C}{k}} \right]$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 4 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Invers Chebishev - YT

$\alpha_1 := 1.0$  dB  $\alpha_2 := 25$  dB  $f_c := 1000$  Hz  $\tau_w := 300$  Hz

$$\Omega := \left[ \frac{f_c}{f_c - \tau_w} \right] \quad x := 10^{0.1 \cdot \alpha_2} \quad y := 10^{0.1 \cdot \alpha_1} \quad c := \sqrt{\frac{x-1}{y-1}}$$

$$n(\Omega) := \frac{\log \left[ c + \sqrt{c^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]} \quad \beta_1 := \frac{\sqrt{x + \sqrt{x-1}}}{\sqrt{x - \sqrt{x-1}}}$$

$\Omega = 1.429$   $j := 0 + i$   $n(\Omega) = 4.74$   $n_1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$

$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n_1, \Omega)$   $\tau_{w0} := f_c \cdot (\Omega - 1)$   $\frac{\Omega - 1}{\Omega} \cdot f_c$

$r := \text{mod}(n_1, 2)$   $n := n_1$   $n = 5$   $\Omega = 1.383$   
 $r = 1$   $\tau_w = 300$

$$\beta := \beta_1 \quad \tau_{w0} = 382.616 \quad \tau_{w1} = 276.734 \quad k := 1 \dots \frac{n-r}{2}$$

$$\phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$C_0 := \Omega \cdot \left[ 0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \right]^{-1} \quad C_0 = 1.781 \quad \tau_k := \Omega \cdot \left[ \cos[\phi_k] \right]^{-1}$$

$$\lambda_k := \Omega \cdot \left[ -0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \cdot \sin[\phi_k] + j \cdot 0.5 \cdot \left[ \beta + \beta^{-1} \right] \cdot \cos[\phi_k] \right]^{-1}$$

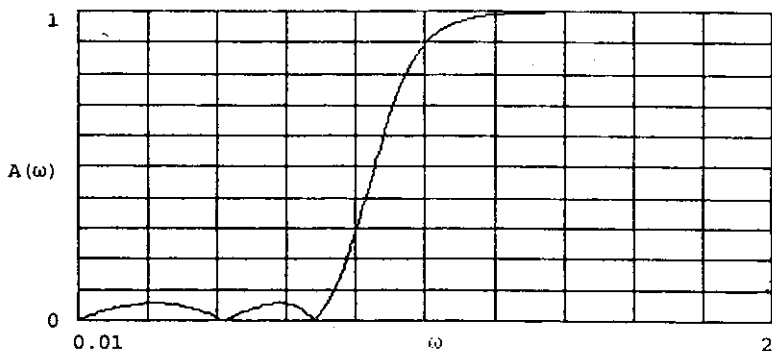
$$A_k := \tau_k^2 \quad B_k := 2 \cdot \left| \text{Re}[\lambda_k] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

k	$\text{Re}[\lambda_k]$	$\text{Im}[\lambda_k]$	$\tau_k$	A <sub>k</sub>	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k \cdot k}}$
1	-0.22	-1.104	1.454	2.113	0.44	1.268	2.559
2	-0.916	-1.085	2.352	5.533	1.832	2.016	0.775

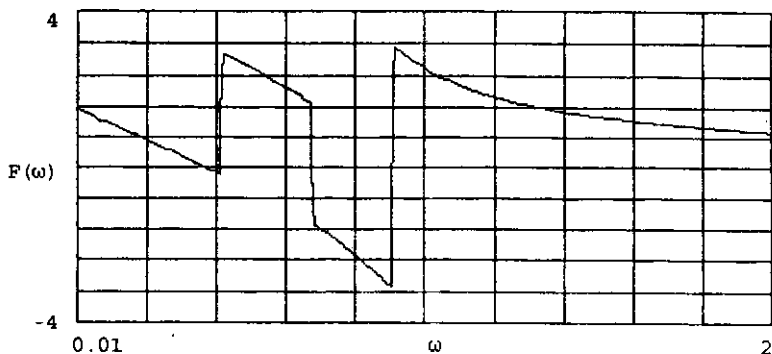


$$G(\omega) := \left[ \frac{j \cdot \omega}{j \cdot \omega + C} \right]^r \cdot \prod_k \frac{[(j \cdot \omega)^2 + A]^{-1}}{(j \cdot \omega)^2 + B \cdot j \cdot \frac{\omega}{C} + C}$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

həm də saxlama zolaqlarında pulsasiyalara malikdirlər. Hər bir buraxma zolaqlı süzgeç növü üçün  $\omega_0$  - mərkəzi tezlik və  $\omega_{c1}$ ,  $\omega_{c2}$  - kəsilmə tezlikləri arasındakı münasibət aşağıdakı kimidir:

$$\begin{aligned}\omega_{c1} &= \omega_0(-1/(2Q) + (1 + 1/(4Q^2))^{1/2}); \\ \omega_{c2} &= \omega_0(1/(2Q) + (1 + 1/(4Q^2))^{1/2}); \\ \omega_0 &= (\omega_{c1} \cdot \omega_{c2})^{1/2}\end{aligned}\quad (1.4.4)$$

Prototipin ötürmə funksiyasında (1.4.3) əvəzləmə ilə alınan buraxma zolaqlı süzgeç və mənzələrinin ötürmə funksiyaları cədvəl 1.4.2-də (7) və (8) ümumiləşdirilmiş ifadələrlə təyin olunurlar.

Birinci tərtib prototipə II tərtib buraxma zolaqlı süzgeç mənzəsi uyğun gəlir.

Prototip kimi II tərtib polinomial süzgeç mənzəsi götürülsə, uyğun buraxma zolaqlı süzgeç mənzəsi 4 tərtibli alınır. Öz növbəsində, alınan 4 tərtibli süzgeç mənzəsinin ötürmə funksiyası isə iki tərtibli iki mənzənin ötürmə funksiyalarının hasilini kimi göstərilir.

Cədvəl 1.4.2-də cüt mənzələrə uyğun əmsallar 1 və 2 - indeksləri ilə ifadə olunurlar.

Prototip kimi II tərtib qeyri-polinomial (invers Çebışev və Elliptik) süzgeç mənzələri götürülsə, uyğun buraxma zolaqlı süzgeçin ötürmə funksiyası 2 tərtibli iki ədəd qeyri-polinomial süzgeç mənzələrinin (cüt mənzələrin) ötürmə funksiyalarının hasilini kimi göstərilir.

Məsələ 1.4.2.K = 4,  $\omega_0 = 1$  rad/san, Q = 5 parametrlərə malik n = 4 tərtibli buraxma zolaqlı Battervort süzgeçin ötürmə funksiyasının ifadəsini almaq tələb olunur.

Aşağı tezlik prototipinin tərtibi iki dəfə azdır. II tərtib Battervort süzgeç üçün normallaşdırılmış əmsallar B = 1.114214, C = 1 -dir. Süzgeci iki mənzədən (cüt mənzələrdən) ibarət götürmək olar. K = K<sub>1</sub>\*K<sub>2</sub> = 2\*2 = 4 kimi seçmək olar. Verilənlərə və cədvəl 1.4.2 -yə əsasən əsasən E = 7.088812; D = 1.073397;

$$\rho_1 \omega_0 = 0.4 \quad ; \quad \beta \omega_0 = 0.151421 \quad ; \quad \gamma_1 \omega_0^2 = 1.152181;$$

$$G_1(S) = \frac{0.4S}{S^2 + 0.151421S + 1.152181} \quad ;$$

$$\rho_2 \omega_0 = 0.4 ; \quad \beta_2 \omega_0 = 0.131421 ; \quad \gamma_1 \omega_0^2 = 0.867914 ;$$

$$G_2(S) = \frac{0.4 S}{S^2 + 0.131421S + 0.867914} \quad \text{şirriq.}$$

Buraxma zolaqlı süzgeçlər aşağı  $\omega_{c1} = \omega_{c1} - \omega_1$  və yuxarı  $\omega_{c2} = \omega_2 - \omega_{c2}$  keçid oblastlarına malikdirlər. Prototipinin  $\omega_0$  - keçid oblastının eninə əsasən  $\omega_1$  və  $\omega_2$  - aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\omega_1 = \frac{\omega_0}{2Q} \left[ \omega_0 - \left( \sqrt{(1 + \omega_0)^2 + 4 Q^2} - \sqrt{1 + 4 Q^2} \right) \right] ;$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_0}{2Q} \left[ \omega_0 + \left( \sqrt{(1 + \omega_0)^2 + 4 Q^2} - \sqrt{1 + 4 Q^2} \right) \right] \quad (1.4.5)$$

Yüksək keyfiyyətlik əmsalına malik sxemlər üçün

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{\omega_2}{\omega_0} = \frac{\omega_0}{2 \cdot Q} \quad (1.4.6)$$

təqribi ifadəsindən istifadə etmək olar.

Məsələ 1.4.3.  $n = 8$ ,  $f_0 = 10^3$  Hs,  $Q = 5$ ,  $\alpha_1 = 0.5$  dB və  $\alpha_2 = 60$  dB parametrlərə malik buraxma zolaqlı elliptik süzgeçin keçid oblastını qiymətləndirmək tələb olunur.

Çədvəl [2, əlavə V]-dən  $n = 8$ ,  $\alpha_1 = PRW = 0.5$  dB,  $\alpha_2 = MSL = 60$  dB qiymətə uyğun  $\omega_0 = 0.1243$  seçirik. (1.4.5) ifadələrinə əsasən  $\omega_1 = 11.1172$  Hs,  $\omega_2 = 13.7428$  Hs tapırıq. Müqayisə üçün (1.4.6) ifadəsindən istifadə etsək  $\omega_1 = \omega_2 = 12.43$  Hs alarıq.

(1.4.5) ifadəsindən görünür ki,  $\omega_2 > \omega_1$  - dir. Onda keçid oblastın eni tələb olunan qiymətdən kiçik olan buraxma zolaqlı süzgeç işləmək üçün prototipe normallasdırılmış en hesablanmalıdır:

$$\omega = \frac{2 \cdot Q \cdot \omega_2}{\omega_0} \left[ \frac{Q \cdot \omega_2 / \omega_0 + \sqrt{1 + 4 Q^2}}{1 + 2 \cdot Q \cdot \omega_2 / \omega_0 + \sqrt{1 + 4 Q^2}} \right] \quad (1.4.7)$$

Məsələ 1.4.4.  $f_0 = 10^3$  Hs,  $\omega_1 = 1$  rad/san,  $\alpha_2 = 50$  dB,  $Q = 10$  və

$\tau\omega < 10$  Hs olan elliptik süzgecin tertibi tələb olunur.

(1.4.7) ifadəsindən  $\tau\omega = 0.1896$  alırıq. Məlumat cədvəli [2, əlavə Q]-dən  $N = 7$  üçün  $\tau\omega = 0.1013$ ,  $n = 6$  üçün  $\tau\omega = 0.1989$  seçirik.  $N = 7$  daha uyğundur və  $\tau\omega = 0.1013$  qiymətini (1.4.5) ifadələrində nəzərə alsaq,  $\tau\omega_1 = 4.8$  Hs,  $\tau\omega_2 = 5.3$  Hs alırıq. Bu qiymətlər isə verilən sərti ödəyir:  $\tau\omega_1 < \tau\omega_2 < 10$  Hs.

Buraxma zolaqlı süzgec və manqalar üçün ötürmə funksiyalarının tertibinə dair digər nümunələr "Batterwort - BZ", "Çebışev - BZ" və "İnvers Çebışev - BZ" proqramlarının mətnində verilmişdir.

Rejektor süzgecin ötürmə funksiyasının ifadəsini uyğun aşağı tezlik prototip üçün ifadədə S - dəyişənini

$$\frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{\omega_0} \left( \frac{S}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{S} \right)^{-1} = \frac{b\omega \cdot S}{S^2 + \omega^2} = \frac{\omega_0 \cdot S}{Q \cdot (S^2 + \omega^2)} \quad (1.4.8)$$

əvəz etməklə almaq olar. Burada  $\omega_0$  - mərkəzi tezlik,  $b\omega = \omega_{c2} - \omega_{c1}$  - zolağın eni,  $Q = \omega_0/b\omega$  - keyfiyyətlik əmsalidir. (1.4.8) əvəzləməsinə əsasən rejektor süzgecin tertibi uyğun aşağı tezlikli prototipindən iki dəfə çoxdur və çüt ədəddir. Belə süzgec mərkəzi  $\omega_0$  - tezliyindən aşağı tezliklərdə aşağı tezlikli süzgec,  $\omega_0$  - dan yuxarı tezliklərdə isə yuxarı tezlikli süzgeclər kombinasiyası kimi təsəvvür oluna bilər. Buna əsasən rejektor süzgeclərdən Battervort növü  $\omega_0$  - dan sağa və sola monoton, Çebışev növü aşağı ( $0 \leq \omega \leq \omega_{c1}$ ) və yuxarı ( $\omega \geq \omega_{c2}$ ) buraxma zolaqlarında pulsasiyalı, saxlama zolaqlarında monoton, elliptik növü isə həm buraxma, həm də saxlama zolaqlarında pulsasiyalıdır. Hər bir növ üçün mərkəzi  $\omega_0$  və kəsilmə  $\omega_{c1}$ ,  $\omega_{c2}$  tezlikləri arasında münasibət (1.4.4) - ilə təyin olunur. Signalı saxlama tezlikləri  $\omega_1$  və  $\omega_2$  - isə aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_0 \left( -\frac{1}{2 \Omega_c \cdot Q} + \sqrt{1 + \frac{1}{4 \Omega_c^2 \cdot Q^2}} \right); \\ \omega_2 &= \omega_0 \left( \frac{1}{2 \Omega_c \cdot Q} + \sqrt{1 + \frac{1}{4 \Omega_c^2 \cdot Q^2}} \right); \\ \omega_0 &= \sqrt{\omega_1 \cdot \omega_2}. \end{aligned} \quad (1.4.9)$$

Batterwort - BZ

$$\alpha_1 := 3 \text{ dB} \quad \alpha_2 := 40 \text{ dB} \quad f_0 := 1000 \text{ Hz} \quad H_s \quad \tau\omega := 400 \text{ Hz}$$

$$b\omega := 200 \text{ Hz} \quad fc1 := f_0 - 0.5 \cdot b\omega \quad fc2 := f_0 + 0.5 \cdot b\omega$$

$$f1 := fc1 - \tau\omega \quad f2 := fc2 + \tau\omega$$

$$fc1 = 900 \quad fc2 = 1.1 \cdot 10^3 \quad f1 = 500 \quad f2 = 1.5 \cdot 10^3$$

$$h := 10 \quad 0.1 \cdot \begin{bmatrix} \alpha - \alpha \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \Omega := \frac{f_0}{b\omega} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right] \quad n(\Omega) := \left\lceil \frac{\log(2 \cdot h - 1)}{2 \cdot \log(\Omega)} \right\rceil$$

$$\Omega = 4.167 \quad n(\Omega) = 3.228 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad Q := \frac{f_0}{b\omega} \quad n := n1$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad r = 0 \quad n = 4 \quad Q = 5 \quad \tau\omega_0 := \Omega - 1$$

$$\tau\omega_1 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 - \left[ \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right] \quad \Omega = 3.163$$

$$\tau\omega_0 = 2.163$$

$$\tau\omega = 400$$

$$\tau\omega_2 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 + \left[ \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right] \quad \tau\omega_1 = 172.472$$

$$\tau\omega_2 = 260.171$$

$$j := 0 + i$$

$$k := 1 \dots \frac{n - r}{2} \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n} \quad \lambda_k := \sin[\phi_k] + j \cdot \cos[\phi_k]$$

$$C_0 := 1 \quad B_k := 2 \cdot \left| \text{Re}[\lambda_k] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

k	$\text{Re}[\lambda_k]$	$\text{Im}[\lambda_k]$	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k \cdot k}}^{-1}$
1	0.383	0.924	0.765	1	1.307
2	0.924	0.383	1.848	1	0.541

$$E_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ C_k + 4 \cdot Q^2 + \sqrt{\left[ C_k + 4 \cdot Q^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot B_k \cdot Q \right]^2} \right]}$$

$$\rho_0 := \frac{C_0}{Q}$$

$$D_k := \frac{1}{2} \left[ \left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q} \right] + \sqrt{\left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q} \right]^2 - 4} \right]$$

$$\beta_0 := \frac{C_0}{Q} \quad \tau_0 := 1$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := \frac{\sqrt{\frac{C_k}{k}}}{Q} \quad \rho_{2 \cdot k} := \frac{\sqrt{\frac{C_k}{k}}}{Q} \quad \beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D_k}{E_k} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D_k \cdot E_k}$$

$$\tau_{2 \cdot k - 1} := \frac{2}{D_k} \quad \tau_{2 \cdot k} := \frac{-2}{D_k}$$

$$s := 1 \dots (n - r)$$

$\rho$	$s$
0.2	
0.2	
0.2	
0.2	

$\beta$	$s$
0.084	
0.069	
0.192	
0.178	

$\tau$	$s$
1.203	
0.831	
1.08	
0.926	

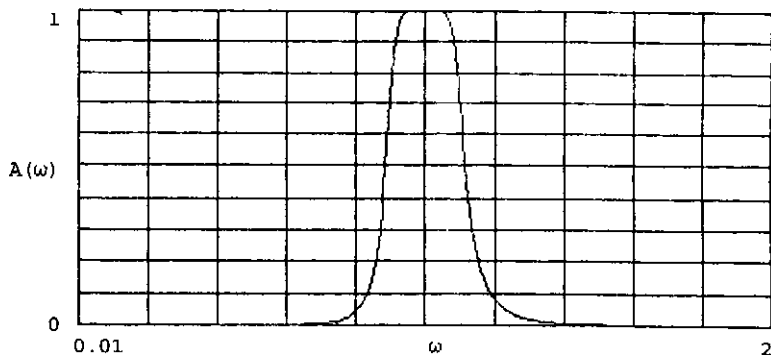
$D_k$
1.097
1.039

$E_k$
13.121
5.416

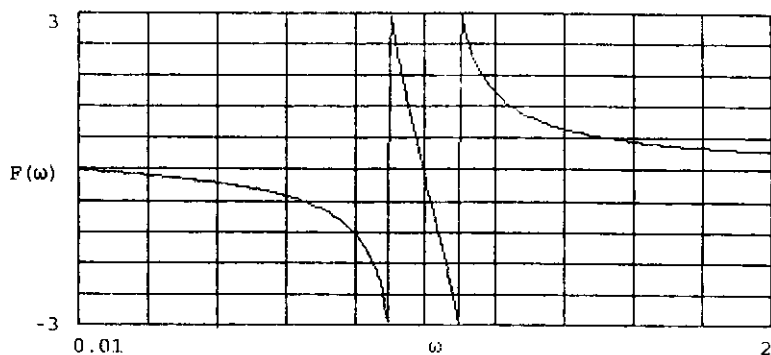
$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta \cdot j \cdot \omega + \tau} \right]^r \cdot \prod_s \frac{\rho \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\alpha_1 = 3 \quad \alpha_2 = 40 \quad f_0 = 1 \cdot 10^3 \quad b\omega = 200 \quad t\omega = 400$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Cebishev - BZ

$$\begin{aligned} \alpha_1 &:= 0.5 \text{ dB} & \alpha_2 &:= 35 \text{ dB} & f_0 &:= 4000 \text{ Hz} & \tau\omega &:= 100 \text{ Hz} \\ b\omega &:= 150 \text{ Hz} & fc1 &:= f_0 - 0.5 \cdot b\omega & fc2 &:= f_0 + 0.5 \cdot b\omega \\ f1 &:= fc1 - \tau\omega & & & f2 &:= fc2 + \tau\omega \end{aligned}$$

$$fc1 = 3.925 \cdot 10^3 \quad fc2 = 4.075 \cdot 10^3 \quad f1 = 3.825 \cdot 10^3 \quad f2 = 4.175 \cdot 10^3$$

$$x := \begin{bmatrix} 0.1 \cdot \alpha_2 & -1 \\ 10 & -1 \\ 0.1 \cdot \alpha_1 & 1 \\ 10 & -1 \end{bmatrix}^{0.5} \quad \Omega := \frac{f_0}{b\omega} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right] \quad n(\Omega) := \frac{\log \left[ x + \sqrt{x^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]}$$

$$\Omega = 2.284 \quad n(\Omega) = 3.935 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad Q := \frac{f_0}{b\omega} \quad \tau\omega_0 := \Omega - 1$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad r = 0 \quad n = 4 \quad j := 0 + i \quad n := n1 \quad Q = 26.667$$

$$\tau\omega_1 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 - \left[ \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right] \quad \Omega = 2.236$$

$$\tau\omega_2 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 + \left[ \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right] \quad \tau\omega_0 = 1.236$$

$$k := 1 + \frac{n - r}{2} \quad \tau\omega_1 = 89.889 \quad \tau\omega_2 = 95.51 \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$\epsilon := \begin{bmatrix} 0.05 \cdot \alpha_1 & +1 \\ 10 & +1 \\ 0.05 \cdot \alpha_2 & -1 \\ 10 & -1 \end{bmatrix}^{\frac{1}{2 \cdot n}} \quad C_0 := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}]$$

$$\lambda_k := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}] \cdot \sin\left[\frac{\phi_k}{k}\right] + j \cdot 0.5 \cdot [\epsilon + \epsilon^{-1}] \cdot \cos\left[\frac{\phi_k}{k}\right]$$



$$C_0 := 1 \quad B_k := 2 \cdot \left| \operatorname{Re}[\lambda_k] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

$$Q1_k := \sqrt{\frac{C_k \cdot B_k}{k}}^{-1}$$

k
1
2

$\operatorname{Re}[\lambda_k]$
0.162
0.391

$\operatorname{Im}[\lambda_k]$
1.003
0.415

B_k
0.322
0.781

C_k
1.032
0.325

Q1_k
3.14
0.73

$$E_k := \frac{1}{B_k} \cdot \frac{1}{2} \left[ C_k + 4 \cdot Q^2 + \sqrt{\left[ C_k + 4 \cdot Q^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot B_k \cdot Q \right]^2} \right]$$

$$\rho_0 := \frac{C_0}{Q_0}$$

$$D_k := \frac{1}{2} \left[ \left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q} \right] + \sqrt{\left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q} \right]^2 - 4} \right]$$

$$\beta_0 := \frac{C_0}{Q_0}$$

$$\tau_0 := 1$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := \frac{\sqrt{\frac{C_k}{k}}}{Q}$$

$$\rho_{2 \cdot k} := \frac{\sqrt{\frac{C_k}{k}}}{Q}$$

$$\beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D_k}{E_k}$$

$$\beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D_k \cdot E_k}$$

$$\tau_{2 \cdot k - 1} := D_k^2$$

$$\tau_{2 \cdot k} := D_k^{-2}$$

$$s := 1 \dots (n - r)$$

$\rho_s$
0.038
0.038
0.021
0.021

$\beta_s$
0.006
0.006
0.015
0.015

$\tau_s$
1.038
0.963
1.016
0.985

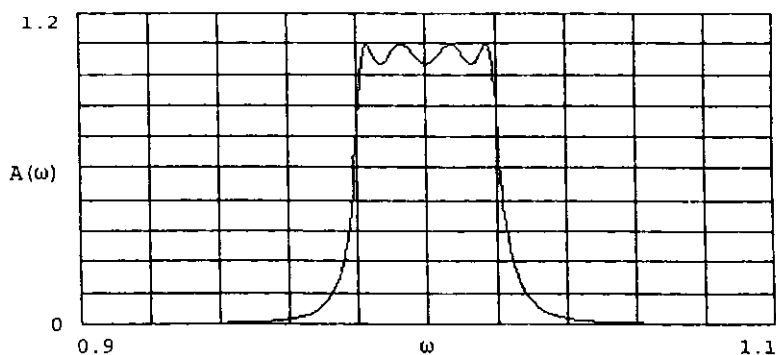
D_k
1.019
1.008

E_k
164.829
68.264

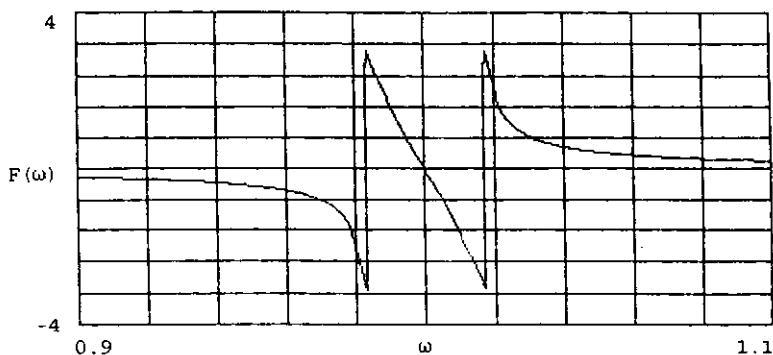
$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_0 \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \cdot \prod_s \frac{\rho_s \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_s \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\alpha_1 = 0.5 \quad \alpha_2 = 35 \quad f_0 = 4 \cdot 10^3 \quad b\omega = 150 \quad t\omega = 100$$

$$\omega := 0.9, 0.9005 \dots 1.1 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Invers Cebishev - BZ

$$\begin{aligned} \alpha 1 &:= 3 \text{ dB} & \alpha 2 &:= 20 \text{ dB} & f_0 &:= 2000 \text{ Hz} & \tau\omega &:= 40 \text{ Hz} \\ b\omega &:= 500 \text{ Hz} & f_{c1} &:= f_0 - 0.5 \cdot b\omega & f_{c2} &:= f_0 + 0.5 \cdot b\omega \\ f_1 &:= f_{c1} - \tau\omega & f_2 &:= f_{c2} + \tau\omega \\ f_{c1} &= 1.75 \cdot 10^3 & f_{c2} &= 2.25 \cdot 10^3 & f_1 &= 1.71 \cdot 10^3 & f_2 &= 2.29 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$x := 10^{0.1 \cdot \alpha 2} \quad \Omega := \frac{f_0}{b\omega} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right] \quad y := 10^{0.1 \cdot \alpha 1} \quad c := \sqrt{\frac{x-1}{y-1}}$$

$$n(\Omega) := \frac{\log \left[ c + \sqrt{c^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]} \quad \beta 1 := \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-1}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-1}}$$

$$\begin{aligned} \Omega &= 1.087 & n(\Omega) &= 7.239 & n_1 &:= \text{floor}(n(\Omega) + 1) \\ \Omega &:= \text{root}(n(\Omega) - n_1, \Omega) & Q &:= \frac{f_0}{b\omega} & Q &= 4 & n &:= n_1 \end{aligned}$$

$$r := \text{mod}(n_1, 2) \quad r = 0 \quad n = 8 \quad j := 0 + i \quad \tau\omega_0 := \Omega - 1$$

$$\tau\omega_1 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 - \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \quad \Omega = 1.071$$

$$\tau\omega_0 = 0.071$$

$$\tau\omega_2 := \frac{f_0}{2 \cdot Q} \left[ \tau\omega_0 + \sqrt{(1 + \tau\omega_0)^2 + 4 \cdot Q^2} - \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \quad \tau\omega = 40$$

$$\tau\omega_1 = 15.407$$

$$\tau\omega_2 = 19.944$$

$$k := 1 \dots \frac{n-r}{2} \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$\beta := \beta 1^{\frac{1}{2 \cdot n}} \quad C_0 := \Omega \cdot \left[ 0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \right]^{-1} \quad t_k := \Omega \cdot \left[ \cos \left[ \phi_k \right] \right]^{-1}$$

$$\lambda_k := \Omega \cdot \left[ -0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \cdot \sin \left[ \phi_k \right] + j \cdot 0.5 \cdot \left[ \beta + \beta^{-1} \right] \cdot \cos \left[ \phi_k \right] \right]^{-1}$$

$$A_k := t_k^2 \quad B_k := 2 \cdot \operatorname{Re}[\lambda_k] \quad C_k := \left[ \frac{\lambda_k}{k} \right]^2 \quad C_0 = 2.796$$

k	$\operatorname{Re}[\lambda_k]$	$\operatorname{Im}[\lambda_k]$	t_k	A_k	B_k	C_k	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k \cdot k}}$
1	-0.072	-1.014	1.092	1.192	0.144	1.034	7.047
2	-0.272	-1.138	1.288	1.658	0.544	1.368	2.151
3	-0.749	-1.399	1.927	3.714	1.498	2.518	1.06
4	-2.177	-1.211	5.488	30.121	4.354	6.207	0.572

$$E_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ C_k + 4 \cdot Q_k^2 + \sqrt{\left[ C_k + 4 \cdot Q_k^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot B_k \cdot Q_k \right]^2} \right]}$$

$$\rho_0 := \frac{C_0}{Q_0}$$

$$D_k := \frac{1}{2} \left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q_k} + \sqrt{\left[ \frac{E_k}{B_k \cdot Q_k} \right]^2 - 4} \right] \quad \beta_0 := \frac{C_0}{Q_0} \quad \tau_0 := 1$$

$$A1_k := 1 + \frac{A_k + \sqrt{A_k^2 + 4 \cdot A_k \cdot Q_k}}{2 \cdot Q_k} \quad \alpha_{2 \cdot k - 1} := A1_k \quad \alpha_{2 \cdot k} := A1_k^{-1}$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := \frac{C_k}{A_k} \quad \rho_{2 \cdot k} := \frac{C_k}{A_k} \quad \beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D_k}{E_k} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D_k \cdot E_k}$$

$$\tau_{2 \cdot k - 1} := D_k^2 \quad \tau_{2 \cdot k} := D_k^{-2}$$

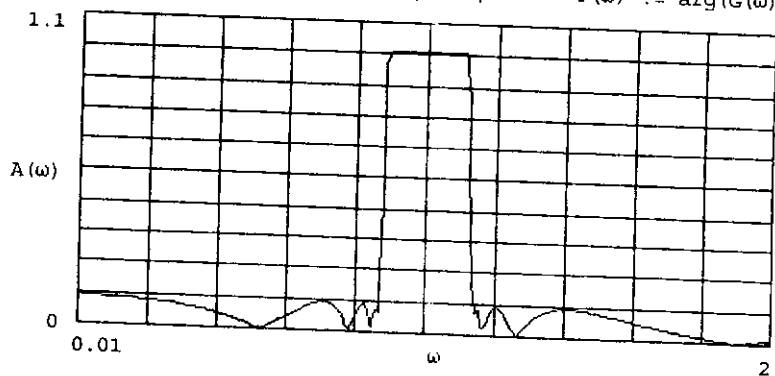
$$s := 1 \dots (n - r)$$

$\rho$	$\alpha$	$\beta$	$\tau$	D	E
s	s	s	s	k	k
0.932	1.313	0.02	1.288	1.135	55.88
0.932	0.762	0.016	0.777	1.152	14.863
0.908	1.378	0.078	1.328	1.191	5.424
0.908	0.726	0.058	0.753	1.169	1.86
0.823	1.612	0.22	1.418		
0.823	0.62	0.155	0.705		
0.454	3.605	0.629	1.368		
0.454	0.277	0.46	0.731		

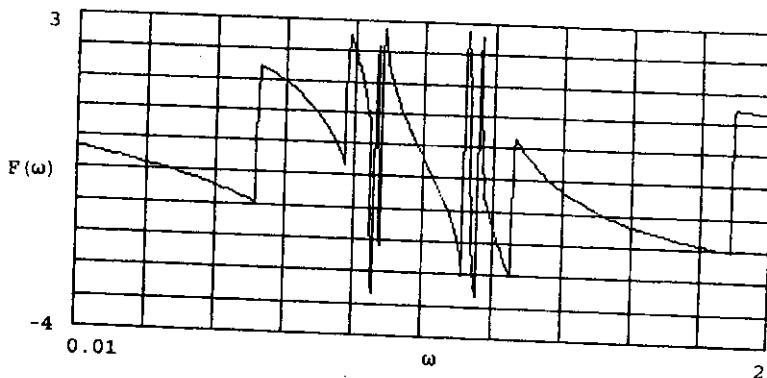
$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_0 \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \prod_s \frac{\rho_s \cdot \left[ (j \cdot \omega)^2 + \alpha_s \right]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_s \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\alpha_1 = 3 \quad \alpha_2 = 20 \quad f_0 = 2 \cdot 10^3 \quad b\omega = 500 \quad t\omega = 40$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Burada  $\Omega_c = 1 + \omega_0$  - aşağı tezlik prototipin saxlama tezliyi,  $\omega_0$  - prototipin normallasdırılmış enidir.

Prototipin ötürme funksiyasında (1.4.8) əvəzləməsi aparmaqla uyğun rejektor süzgecin və ya manqasının ötürmə funksiyasının ifadəsi alınır. Müxtəlif növ prototip süzgec və manqalar üçün uyğun rejektor süzgec manqalarının ötürmə funksiyaları cədvəl 1.4.2-də (12) ifadəsilə təyin olunurlar. Göründüyü kimi bütün hallarda rejektor süzgec və manqaları qeyri-polinomialdırlar. Prototip II tertib manqa olduqda isə rejektor süzgec cüt manqalardan təşkil olunur.  $E_1$  - parametri hər iki manqanın keyfiyyətlik əmsalını təyin edir.

Rejektor süzgeçlər üçün  $\omega_1$  və  $\omega_2$  - keçid oblastları prototipin  $\omega_0$  keçid oblastına əsasən aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - [\sqrt{1 + 4(\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2}] - (\omega_0 + 1)\sqrt{1 + 4Q^2}}{2 \cdot (\omega_0 + 1) \cdot Q} ;$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_0} = \frac{\omega_0 + [\sqrt{1 + 4(\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2}] - (\omega_0 + 1)\sqrt{1 + 4Q^2}}{2 \cdot (\omega_0 + 1) \cdot Q} \quad (1.4.10)$$

Yüksək keyfiyyətlik əmsallı süzgeçlər üçün aşağıdakı təqribi münasibətdən də istifadə etmək olar:

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{\omega_2}{\omega_0} = \frac{\omega_0}{2(\omega_0 + 1)Q} \quad (1.4.11)$$

$\omega_2 > \omega_1$  olduğu üçün maksimum yol verilən hədd kimi  $\omega_2$  götürülməlidir. Rejektor süzgecin  $\omega_2$  - qiymətinə uyğun aşağı tezlik prototipin keçid oblastının normallasdırılmış eni

$$\omega_0 = \frac{2 \{ (2Q \cdot \omega_2 / \omega_0) - 1 - \sqrt{1 + 4Q^2} \}}{4Q^2 - 1 \{ (2 \cdot \omega_2 / \omega_0) - 1 - \sqrt{1 + 4Q^2} \}} \quad (1.4.12)$$

ifadəsilə qiymətləndirilir.

Rejektor süzgec və manqaları üçün ötürmə funksiyalarının tertib edilməsinə dair nümunələr "Battervort -R", "Cebishev -R", "Invers Cebishev -R" proqramlarının mətnində verilmişdir.

Batterwort - R

$\alpha_1 := 3 \text{ dB}$      $\alpha_2 := 20 \text{ dB}$      $f_0 := 1000 \text{ Hz}$      $t_w := 50 \text{ Hz}$   
 $b_w := 200 \text{ Hz}$      $f_{c1} := f_0 - 0.5 \cdot b_w$      $f_{c2} := f_0 + 0.5 \cdot b_w$   
 $f_1 := f_{c1} + t_w$      $f_2 := f_{c2} - t_w$

$f_{c1} = 900$      $f_{c2} = 1.1 \cdot 10^3$      $f_1 = 950$      $f_2 = 1.05 \cdot 10^3$

$h := 10^{0.1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}$   
 $\Omega := \frac{b_w}{f_0} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right]^{-1}$      $n(\Omega) := \left\lceil \frac{\log(2 \cdot h - 1)}{2 \cdot \log(\Omega)} \right\rceil$

$\Omega = 2.049$      $n(\Omega) = 3.205$      $n_1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$

$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n_1, \Omega)$      $Q := \frac{f_0}{b_w}$      $n := n_1$

$r := \text{mod}(n_1, 2)$      $r = 0$      $n = 4$      $Q = 5$      $t_{w0} := \Omega - 1$

$$t_{w1} := f_0 \cdot \frac{\left[ t_{w0} - \sqrt{1 + 4 \cdot (t_{w0} + 1) \cdot Q^2} - (t_{w0} + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right]}{2 \cdot (t_{w0} + 1) \cdot Q}$$

$$t_{w2} := f_0 \cdot \frac{\left[ t_{w0} + \sqrt{1 + 4 \cdot (t_{w0} + 1) \cdot Q^2} - (t_{w0} + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right]}{2 \cdot (t_{w0} + 1) \cdot Q}$$

$\Omega = 1.776$

$t_{w0} = 0.776$

$k := 1 \dots \frac{n - r}{2}$

$t_w = 50$

$\phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$

$j := 0 + i$

$t_{w1} = 47.112$

$\lambda_k := \sin\left[\phi_k\right] + j \cdot \cos\left[\phi_k\right]$

$t_{w2} = 40.303$

$C_0 := 1$

$A_k := 1$

$B_k := 2 \cdot \left| \text{Re}\left[\lambda_k\right] \right|$

$C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$

k
1
2

$\text{Re}\left[\lambda_k\right]$
0.383
0.924

$\text{Im}\left[\lambda_k\right]$
0.924
0.383

B_k
0.765
1.848

C_k
1
1

$\frac{C \cdot B}{k}$
1.307
0.541

$$E1_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{C_k}{2} \left[ 1 + 4 \cdot C_k \cdot Q^2 + \sqrt{\left[ 1 + 4 \cdot C_k \cdot Q^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot Q \cdot B_k \right]^2} \right]}$$

$$D1_k := \frac{1}{2} \left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q \cdot C_k} + \sqrt{\left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q \cdot C_k} \right]^2 - 4} \right] \quad A2_k := 1 + \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot A_k \cdot Q^2}}{2 \cdot A_k \cdot Q}$$

$$K_0 := 1 \quad K_s := 1 \quad S := 1 \dots (n - r)$$

$$\rho_0 := K_0 \quad \alpha_0 := 1 \quad \beta_0 := [C \cdot Q]^{-1} \quad \tau_0 := 1$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := K_{2 \cdot k - 1} \quad \rho_{2 \cdot k} := K_{2 \cdot k} \quad \alpha_{2 \cdot k - 1} := 1 \quad \alpha_{2 \cdot k} := 1$$

$$\beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D1_k}{E1_k} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D1_k \cdot E1_k} \quad \tau_{2 \cdot k - 1} := D1_k^2 \quad \tau_{2 \cdot k} := D1_k^{-2}$$

$$\rho_s$$

s
1
1
1
1

$$\beta_s$$

s
0.084
0.069
0.192
0.178

$$\tau_s$$

s
1.203
0.831
1.08
0.926

$$E1_k$$

k
13.121
5.416

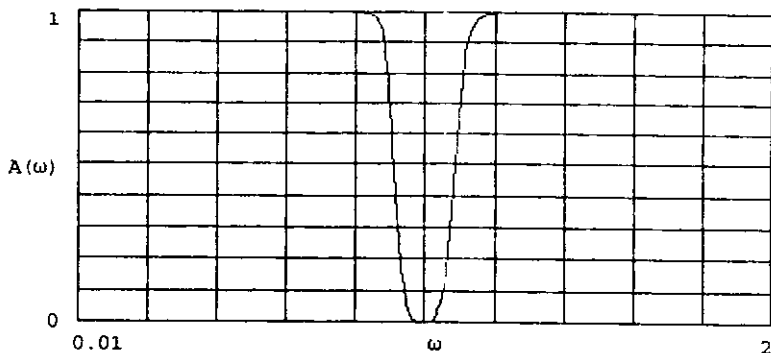
$$D1_k$$

k
1.097
1.039

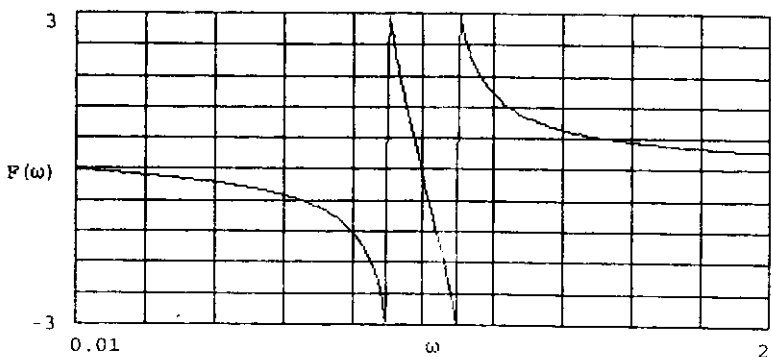


$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_0]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_0 \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \cdot \prod_s \frac{\rho_s \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_s]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_s \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 2 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

$$\begin{aligned} \alpha 1 &:= 2.5 \text{ dB} & \alpha 2 &:= 35 \text{ dB} & f_0 &:= 20000 \text{ Hz} & \omega &:= 500 \text{ Hz} \\ b\omega &:= 2000 \text{ Hz} & fc1 &:= f_0 - 0.5 \cdot b\omega & fc2 &:= f_0 + 0.5 \cdot b\omega \\ f1 &:= fc1 + \omega & & & f2 &:= fc2 - \omega \\ fc1 &= 1.9 \cdot 10^4 & fc2 &= 2.1 \cdot 10^4 & f1 &= 1.95 \cdot 10^4 & f2 &= 2.05 \cdot 10^4 \end{aligned}$$

$$x := \begin{bmatrix} \frac{0.1 \cdot \alpha 2}{10} & -1 \\ \frac{0.1 \cdot \alpha 1}{10} & -1 \end{bmatrix}^{0.5} \quad \Omega := \frac{b\omega}{f_0} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right]^{-1} \quad n(\Omega) := \frac{\log \left[ x + \sqrt{x^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]}$$

$$\Omega = 2.025 \quad n(\Omega) = 3.642 \quad n1 := \text{floor}(n(\Omega) + 1)$$

$$\Omega := \text{root}(n(\Omega) - n1, \Omega) \quad Q := \frac{f_0}{b\omega} \quad Q = 10 \quad n := n1$$

$$r := \text{mod}(n1, 2) \quad r = 0 \quad n = 4 \quad j := 0 + i \quad \omega_0 := \Omega - 1$$

$$\omega_1 := f_0 \cdot \frac{\left[ \omega_0 - \sqrt{1 + 4 \cdot (\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2} - (\omega_0 + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right]}{2 \cdot (\omega_0 + 1) \cdot Q}$$

$$\omega_2 := f_0 \cdot \frac{\left[ \omega_0 + \sqrt{1 + 4 \cdot (\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2} - (\omega_0 + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right]}{2 \cdot (\omega_0 + 1) \cdot Q}$$

$$k := 1 \dots \frac{n - r}{2} \quad \Omega = 1.829 \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$\frac{1}{2 \cdot n} \quad \omega_0 = 0.829$$

$$\omega = 500$$

$$\epsilon := \begin{bmatrix} \frac{0.05 \cdot \alpha 1}{10} & +1 \\ \frac{0.05 \cdot \alpha 2}{10} & -1 \end{bmatrix}^{2 \cdot n} \quad \omega_1 = 470.773$$

$$\omega_2 = 435.748$$

$$C_0 := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}]$$

$$\lambda_k := -0.5 \cdot [\epsilon - \epsilon^{-1}] \cdot \sin \left[ \phi_k \right] + j \cdot 0.5 \cdot [\epsilon + \epsilon^{-1}] \cdot \cos \left[ \phi_k \right]$$

$$C_0 := 1 \quad A_k := 1 \quad B_k := 2 \cdot \left| \operatorname{Re} \left[ \lambda_k \right] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2$$

$k$	$\operatorname{Re}[\lambda_k]$	$\operatorname{Im}[\lambda_k]$	$B_k$	$C_k$	$\sqrt{\frac{C_k \cdot B_k}{k}}$
1	0.155	0.997	0.311	1.018	3.248
2	0.375	0.413	0.75	0.311	0.744

$$E1_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{C_k}{2} \left[ 1 + 4 \cdot C_k \cdot Q_k^2 + \sqrt{\left[ 1 + 4 \cdot C_k \cdot Q_k^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot Q_k \cdot B_k \right]^2} \right]}$$

$$D1_k := \frac{1}{2} \left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q_k \cdot C_k} + \sqrt{\left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q_k \cdot C_k} \right]^2 - 4} \right] \quad A2_k := 1 + \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot A_k \cdot Q_k^2}}{2 \cdot A_k \cdot Q_k^2}$$

$$K_0 := 1 \quad K_s := 1$$

$$s := 1 \dots (n - r)$$

$$\rho_0 := K_0 \quad \alpha_0 := 1 \quad \beta_0 := \left[ \begin{matrix} C \cdot Q \\ 0 \end{matrix} \right]^{-1} \quad \tau_0 := 1$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := K_{2 \cdot k - 1} \quad \rho_{2 \cdot k} := K_{2 \cdot k} \quad \alpha_{2 \cdot k - 1} := 1 \quad \alpha_{2 \cdot k} := 1$$

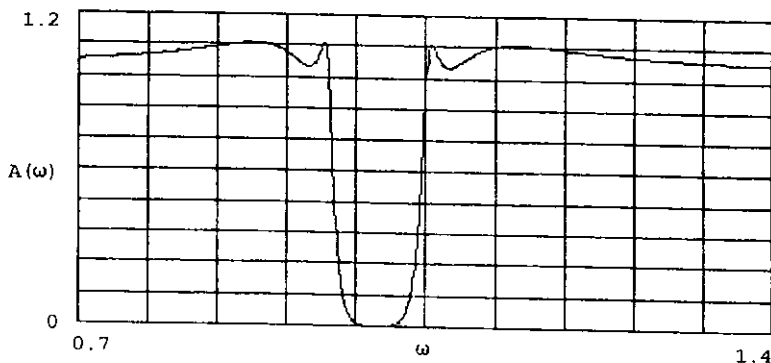
$$\beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D1_k}{E1_k} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D1_k \cdot E1_k} \quad \tau_{2 \cdot k - 1} := D1_k^2 \quad \tau_{2 \cdot k} := D1_k^{-2}$$

$\rho_s$	$\beta_s$	$\tau_s$	$D1_k$	$E1_k$
1	0.016	1.103	1.05	65.634
1	0.015	0.907	1.069	8.317
1	0.128	1.142		
1	0.113	0.876		

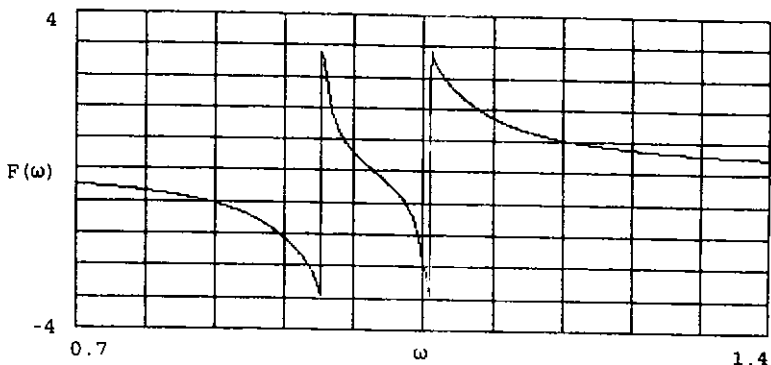
$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_0]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_0 \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \cdot \prod_s \frac{\rho_s \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_s]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_s \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\alpha_1 = 2,5 \quad \alpha_2 = 35 \quad f_0 = 2 \cdot 10^4 \quad b\omega = 2 \cdot 10^3 \quad t\omega = 500$$

$$\omega := 0.70, 0.701 \dots 1.4 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

Invers Cebishev - R

$$\begin{aligned} \alpha 1 &:= 3 \text{ dB} & \alpha 2 &:= 20 \text{ dB} & f_0 &:= 2000 \text{ Hz} & \tau\omega &:= 80 \text{ Hz} \\ b\omega &:= 500 \text{ Hz} & f_{c1} &:= f_0 - 0.5 \cdot b\omega & f_{c2} &:= f_0 + 0.5 \cdot b\omega \\ f_1 &:= f_{c1} + \tau\omega^3 & f_{c2} &:= 2.25 \cdot 10^3 & f_1 &:= 1.83 \cdot 10^3 & f_2 &:= f_{c2} - \tau\omega^3 \\ f_{c1} &:= 1.75 \cdot 10^3 & & & & & f_2 &:= 2.17 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

$$x := 10^{0.1 \cdot \alpha 2} \quad \Omega := \frac{b\omega}{f_0} \left[ \frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2} \right]^{-1} \quad y := 10^{0.1 \cdot \alpha 1} \quad c := \sqrt{\frac{x-1}{y-1}}$$

$$n(\Omega) := \frac{\log \left[ c + \sqrt{c^2 - 1} \right]}{\log \left[ \Omega + \sqrt{\Omega^2 - 1} \right]} \quad \beta 1 := \frac{\sqrt{x} + \sqrt{x-1}}{\sqrt{x} - \sqrt{x-1}}$$

$$\begin{aligned} \Omega &= 1.531 & n(\Omega) &= 3.023 & n_1 &:= \text{floor}(n(\Omega) + 1) \\ \Omega &:= \text{root}(n(\Omega) - n_1, \Omega) & Q &:= \frac{f_0}{b\omega} & Q &= 4 & n &:= n_1 \\ r &:= \text{mod}(n_1, 2) & r &= 0 & n &= 4 & j &:= 0 + i & \tau\omega_0 &:= \Omega - 1 \end{aligned}$$

$$\tau\omega_1 := f_0 \cdot \frac{\left[ \tau\omega_0 - \left[ \sqrt{1 + 4 \cdot (\tau\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2} - (\tau\omega_0 + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right]}{2 \cdot (\tau\omega_0 + 1) \cdot Q}$$

$$\tau\omega_2 := f_0 \cdot \frac{\left[ \tau\omega_0 + \left[ \sqrt{1 + 4 \cdot (\tau\omega_0 + 1)^2 \cdot Q^2} - (\tau\omega_0 + 1) \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot Q^2} \right] \right]}{2 \cdot (\tau\omega_0 + 1) \cdot Q}$$

$$\Omega = 1.293 \quad \tau\omega_0 = 0.293 \quad \tau\omega = 80 \quad \tau\omega_1 = 62.851 \quad \tau\omega_2 = 50.378$$

$$k := 1 \cdot \frac{n - r}{2} \quad \phi_k := (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot n}$$

$$\beta := \beta 1^{\frac{1}{2 \cdot n}} \quad C_0 := \Omega \cdot \left[ 0.5 \cdot \left[ \beta - \beta^{-1} \right] \right]^{-1} \quad t_k := \Omega \cdot \left[ \cos \left[ \phi_k \right] \right]^{-1}$$

$$\lambda_k := \Omega \cdot \left[ -0.5 \cdot [\beta - \beta^{-1}] \cdot \sin[\phi_k] + j \cdot 0.5 \cdot [\beta + \beta^{-1}] \cdot \cos[\phi_k] \right]^{-1}$$

$$A_k := \frac{2}{k} \quad B_k := 2 \cdot \left| \operatorname{Re}[\lambda_k] \right| \quad C_k := \left[ \left| \lambda_k \right| \right]^2 \quad C_0 = 1.576$$

k	$\operatorname{Re}[\lambda_k]$	$\operatorname{Im}[\lambda_k]$	t_k	A_k	B_k	C_k	$\sqrt{\frac{C \cdot B}{k}}$
1	-0.266	-1.012	1.399	1.958	0.532	1.095	1.968
2	-1.196	-0.781	3.378	11.412	2.392	2.04	0.597

$$E1_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{C_k}{2} \left[ 1 + 4 \cdot \frac{C_k}{k} \cdot Q^2 + \sqrt{\left[ 1 + 4 \cdot \frac{C_k}{k} \cdot Q^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot Q \cdot B_k \right]^2} \right]}$$

$$D1_k := \frac{1}{2} \left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q \cdot C_k} + \sqrt{\left[ \frac{E1_k}{B_k \cdot Q \cdot C_k} \right]^2 - 4} \right] \quad A2_k := 1 + \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot A_k \cdot Q^2}}{2 \cdot A_k \cdot Q^2}$$

$$s := 1 \dots (n - r)$$

$$K_0 := 1 \quad K_s := 1$$

$$\rho_0 := K_0 \quad \alpha_0 := 1 \quad \beta_0 := \left[ \frac{C_0}{Q} \right]^{-1} \quad \tau_0 := 1$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := K_{2 \cdot k - 1} \quad \rho_{2 \cdot k} := K_{2 \cdot k} \quad \alpha_{2 \cdot k - 1} := A2_k \quad \alpha_{2 \cdot k} := A2_k^{-1}$$

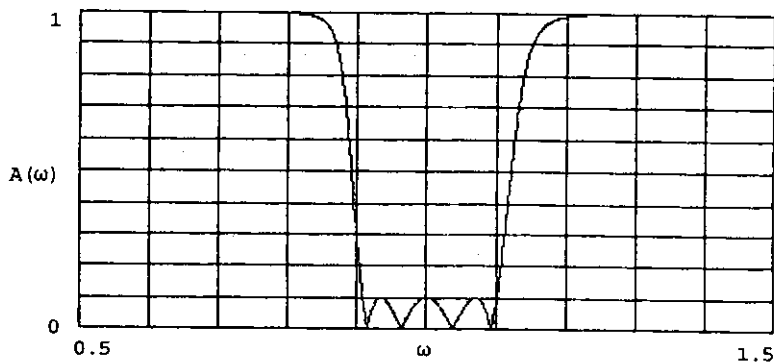
$$\beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D1_k}{2 \cdot k - 1} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D1_k \cdot E1_k} \quad \tau_{2 \cdot k - 1} := \frac{2}{D1_k} \quad \tau_{2 \cdot k} := \frac{2}{D1_k}$$

$\rho_s$	$\alpha_s$	$\beta_s$	$\tau_s$	D1_k	E1_k	A2_k
1	1.195	0.068	1.259	1.122	16.586	1.195
1	0.837	0.054	0.794	1.049	6.833	1.077
1	1.077	0.154	1.101			
1	0.929	0.14	0.909			

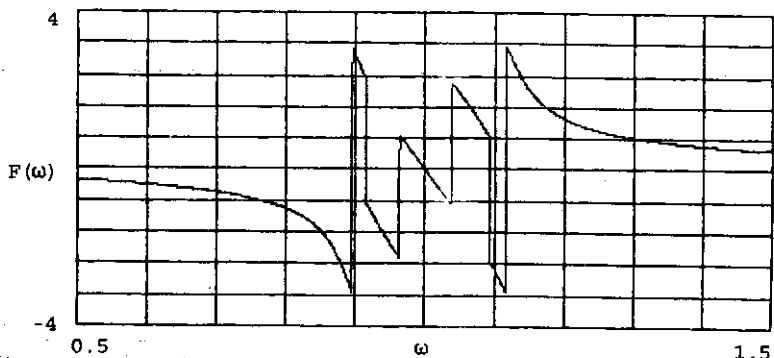
$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_0]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \cdot \prod_{s=1}^3 \frac{\rho_s \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \alpha_s]}{s \cdot [(j \cdot \omega)^2 + \beta \cdot j \cdot \omega + \tau_s]}$$

$$\alpha_1 = 3 \quad \alpha_2 = 20 \quad f_0 = 2 \cdot 10^3 \quad b\omega = 500 \quad t\omega = 80$$

$$\omega := 0.50, 0.501 \dots 1.5 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezik karakteristika



Faz - tezik karakteristika

## 2. AKTIV SÜZGƏC VƏ MƏNQALARININ PRİNSİPİAL ELEKTRİK SXEMLƏRİ

Süzgəclər kaskadlarla işləndikdə bir və iki tərtibli mənqalardan istifadə olunur. Bir və iki tərtibli süzgəc mənqalarını reallaşdıran çoxlu sayda elektrik sxemləri mümkündür. Sxemotexnikada onlardan daha dayanıqlı və yüksək göstəricisi olanlar geniş istifadə olunurlar. İstifadə olunan sxemlər həm reallaşdırdıqları süzgəc növünə, həm də prinsipial elektrik sxeminin quruluşuna görə fərqləndirilir.

Bu bölmədə bir və iki tərtibli süzgəc mənqalarının birinci bölmədə baxılan ötürmə funksiyalarını reallaşdıran sxemlərin hesabına və göstərici parametrlərin qiymətləndirilməsinə baxılır.

### 2.1. Birinci tərtib süzgəc və mənqaları üçün prinsipial elektrik sxemləri

Tək tərtibli aşağı və yuxarı tezlikli süzgəclər kaskadlarla işləndikdə mənqalardan biri I tərtib süzgəc mənqası olur. Birinci tərtib Battervort, Çebışev, invers Çebışev və elliptik süzgəc mənqaları üçün (1.3.8) - ötürmə funksiyasını reallaşdıran prinsipial elektrik sxem şəkil 2.1.1 a,b -də göstərilmişdir.

Sxemdəki elementlərin nominal qiymətlərinin təyini aşağıdakı kimidir:

a) Şəkil 2.1.1, a. - sxemi üçün  $K = 1 + \frac{R_3}{R_2} > 1$  -dir.

$$C_1 = 10/f_c \text{ (mkF)}; \quad R_1 = 1/(\omega_c \cdot C_1 \cdot G);$$

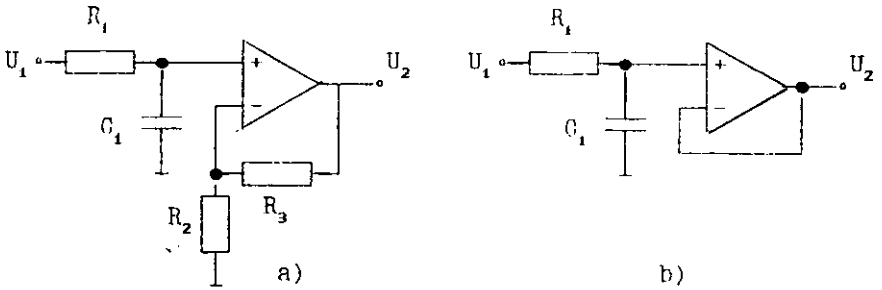
$$R_2 = K \cdot R_1 / (K - 1); \quad R_3 = K \cdot R_1. \quad (2.1.1)$$

b) Şəkil 2.1.1, b - sxemi üçün  $K < 1$  -dir.

$$C_1 = 10/f_c \text{ (mkF)}; \quad R_1 = 1/(\omega_c \cdot C_1 \cdot G). \quad (2.1.2)$$

(2.1.1) və (2.1.2) ifadələrində  $G$  - əmsali süzgəc (1.3.8) ötürmə funksiyasının süzgecin tərkibinə və mənqasının tipinə uyğun qiymətləndirilən əmsaldür.





Şekil 2.1.1. Aşağı tezlikli I tertib süzgeç ve mançaları için prinsipial elektrik sxemleri: a)  $K > 1$ ; b)  $K = 1$ .

Mesela 2.1.1.  $K = 2$ ,  $f_c = 10^3$  Hz,  $n = 3$  tertib aşağı tezlikli Battervort süzgecin I tertib mançası için rezistiv ve tutum elementlerini seçmeli.

Battervort süzgecin I tertib mançası için  $C = 1$  dir.  $K = K_1 \cdot K_2 = 1.2$  kimi seçmek olar, onda  $C_1 = 0,01$  mKF,  $R = 15,915$  Ohm alarıq.

Qeyd 2.1.1: Şekil 2.1.1, a - da  $R_1$ -i deyişdirməklə  $f_c$ -kəsilmə tezliyi,  $R_2$  və ya  $R_3$ -ü deyişdirməklə  $K$  -gücləndirmə əmsallı idarə olunur.  $R_2$  və  $R_3$  rezistorlar əvəzinə orta çıxışı ƏG - nin invers girişinə qoşulmuş potensiometr daha əlverişlidir.

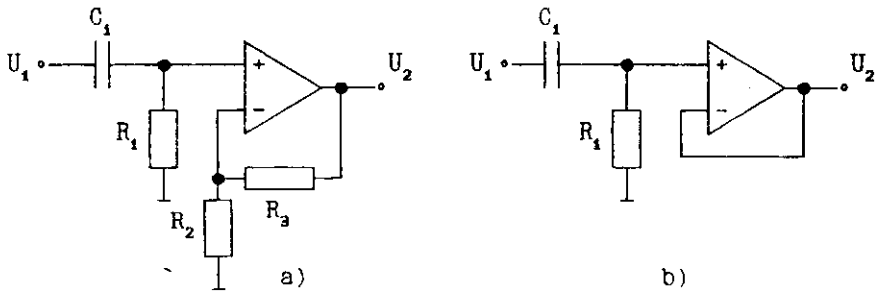
Birinci tertib yuxarı tezlikli süzgeç mançasının ötürmə funksiyasını reallaşdıran prinsipial elektrik sxem şəkil 2.1.2, a, b - də göstərilmişdir.

Sxemin elementləri aşağıdakı kimi qiymətləndirilir:

a) Şekil 2.1.2, a - üçün  $K = 1 + R_3/R_2 > 1$  - dir.

$$C_1 = 10/f_c \text{ (mKF)}; \quad R_1 = C/(\omega_c \cdot \omega_1);$$

$$R_2 = K \cdot R_1 / (K - 1); \quad R_3 = K \cdot R_1. \quad (2.1.3)$$



Şəkil 2.1.2. Yuxarı tezlikli I tertib süzgeç və manqaları üçün prinsiplial elektrik sxemləri: a)  $K > 1$ ; b)  $K = 1$ .

b) şəkil 2.1.2, b - də  $K = 1$  - dir.

$$C_1 = 10/f_c \text{ (mkF)}; \quad R_1 = C / (\omega_c \cdot C_1). \quad (2.1.4)$$

(2.1.3) və (2.1.4) ifadələrində  $C$  - əmsalı aşağı tezlikli prototipe uyğun normallaşdırılmış əmsaldır.

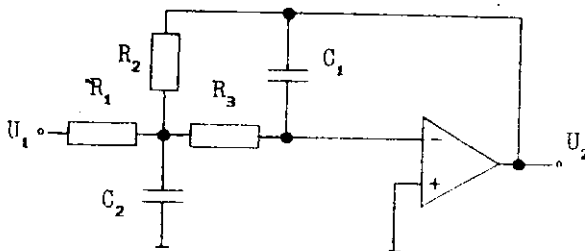
Məsələ 2.1.2.  $K = 2$ ,  $f_c = 1000$  Hs,  $n = 3$  tertib yuxarı tezlikli Battervort süzgecin I tertib manqası üçün rezistiv və tutum elementləri seçməli.

Üçüncü tertib aşağı tezlikli prototipe uyğun ədədi əmsallar  $C_0 = 1$ ,  $B = 1$ ,  $C = 1$  kimidirlər.  $K = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 2$  kimi seçsək,  $C_1 = 0,01$  mkF,  $R_1 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ Om} = 16 \text{ MOm}$  alırıq.  $R_1$  - çox böyük alındı, buna görə  $C_1$  - i 20 dəfə artırıb,  $R_1$  - i 20 dəfə azaltmaq olar. Nəticədə  $C_1 = 0,2$  mkF,  $R_1 = 0,8 \text{ MOm}$  seçmək olar.

Qeyd 2.1.2. Şəkil 2.1.1.a,b - də və şəkil 2.1.2.a,b -də göstərilən sxemlərdə rezistorların müqavimətlərini eyni ədədə vurub, tutumun qiymətini həmin ədədə bölsək sxemin elektrik göstərici parametrləri dəyişməyir. Qeyd 2.1.1. - də göstərilənlər şəkil 2.1.2 - yə də aiddir.

2.2. Polinomial süzgeç və manqaları üçün çoxilgəklə əks rəbitəli sxemlər

Aşağı tezlikli  $II$  tertib polinomial (Battervort və Çebışev) süzgeçlər üçün prinsipial elektrik sxemlərdən biri şəkil 2.2.1 - də göstərilmişdir.



Şəkil 2.2.1. Aşağı tezlikli polinomial süzgeç və manqaları üçün çoxilgəklə əks rəbitəli sxem.

Sxemdə əks rəbitə signalı eyni zamanda hem rezistiv  $R_2$ , həm də tutum  $C_2$  elementləri ötürüldüyündən çoxilgəklə əks rəbitə (ÇƏR) sxemi adlanır. Sxemin reallaşdırdığı ötürmə funksiyası (1.3.9) tenliyi ilə ifadə olunur. Sxeme və ötürmə funksiyasına uyğun parametrlər aşağıdakı ifadələrlə təyin olunurlar:

$$C \cdot \omega_c^2 = 1 / (R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2) ; \quad K = R_2 / R_1 ;$$

$$B \cdot \omega_c = \frac{1}{C_2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right). \quad (2.2.1)$$

Burada  $C$  və  $B$  - sabitləri verilənlər əsasında süzgecin tərtibinə və növünə görə təyin olunan normallaşdırılmış əmsallardır. Sxem invertleyici gücləndirici əsasında işlənilib ( $K < 0$ ). Sxemdə  $C_1$  və  $C_2$  sərbəst seçilərsə, (2.2.1) ifadəsinə əsasən rezistiv müqavimətlər aşağıdakı ifadələrlə qiymətləndirilirlər:

$$R_2 = \frac{2(K + 1) / \omega_c}{B \cdot C_2 + \sqrt{B^2 \cdot C_2^2 - 4C_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)}} ;$$

$$R_1 = R_2 / K ; \quad R_3 = 1 / (C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_c^2 \cdot R_2). \quad (2.2.2)$$

(2.2.2) - dən göründüyü kimi  $R_2$ -nin həqiqi qiymət alması üçün  $C_1$  və  $C_2$ - tutumların qiymətləri

$$C_1 \leq B^2 \cdot C_2 / [4 \cdot C \cdot (K + 1)] \quad (2.2.3)$$

şərtini ödəməlidir.

Qeyd 2.2.1: Rezistiv müqavitlərin nominallarının real olmaları üçün  $C_2 \approx 10/f_c$  (mkF) götürmək olar. Nominallar real olmadıqda müqavimətləri eyni əmsal dəfə artırıb, tutumların qiymətlərini həmin əmsal dəfə azaltmaq (və ya əksinə) olar. Bu zaman sxemə uyğun elektrik və göstərici parametrlər dəyişməyirlər.

Məsələ 2.2.1.  $f_c = 1000$  Hz,  $K = 2$  və  $\alpha_1 = 0,5$  dB parametrlərə uyğun aşağı tezlik II tərtib Çebışev süzgeci reallaşdıran ÇƏR sxemini hesablamalı.

1)  $\alpha_{max} = 0,5$  dB qiymətlərə uyğun [3, cədvəl 3.4]-dən  $n = 2$  tərtib Çebışev süzgecin ötürmə funksiyasının qütblərini qeyd edirik:

$$\lambda = -0,7128 \pm j \cdot 0,0404$$

2) Normallaşdırılmış B və C əmsallarını təyin edirik:

$$B = 1,4256; \quad C = 1,5162.$$

3) Sxem elementlərini (2.2.2), (2.2.3) və qeyd 2.2.1 -ə uyğun qiymətləndiririk:

$$C_2 = 10/f_c \text{ (mkF)} = 0,01; \quad C_1 \leq 0,0011 \text{ mkF} \approx 1 \text{ nF};$$

$$R_2 = 50,6 \text{ k}\Omega; \quad R_1 = 25,3 \text{ k}\Omega; \quad R_3 = 33 \text{ k}\Omega.$$

Yuxarı tezlikli II tərtib polinomial süzgec və manqalar üçün ÇƏR sxemi şəkil 2.2.2 - də verilmişdir.

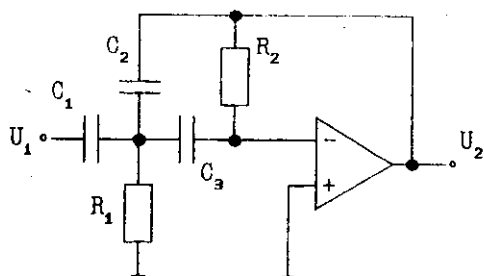
Sxemə uyğun ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 - də (5) ifadəsi kimidir. Sxemə və ötürmə funksiyasının ifadəsinə uyğun parametrlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$K = C_1/C_2; \quad B \cdot \omega_c / C = (2 \cdot C_1 + C_2) / (R_2 \cdot C_1 \cdot C_2); \\ \omega_c^2 / C = 1 / (R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2); \quad C_3 = C_1. \quad (2.2.4)$$

B və C - aşağı tezlikli prototipe uyğun normallaşdırılmış əmsallardır. (2.2.4) ifadələrində  $C_1 \approx 10/f_c$  (mkF) sərbəst seçilir, digər elementlər aşağıdakı kimi qiymətləndirirlər:

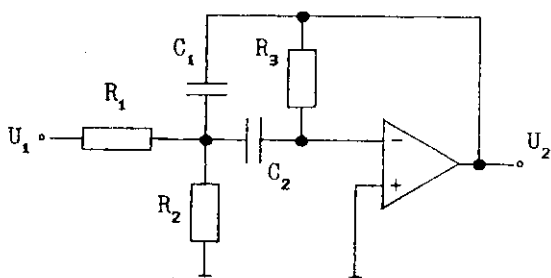
$$C_2 = C_1/K ; R_1 = B/(2 \cdot C_1 + C_2) \cdot \omega_c ;$$

$$R_2 = (2 \cdot C_1 + C_2) \cdot C / (B \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_c) . \quad (2.2.5)$$



Şəkil 2.2.2. Yuxarı tezlikli polinomial süzgeç və manqalar üçün çoxilgəklə əks rəbitəli sxem.

Buraxma zolaqlı II tərtib polinomial süzgeç və manqalar üçün ÇƏR sxemi şəkil 2.2.3 -də göstərilmişdir.



Şəkil 2.2.3. Buraxma zolaqlı polinomial süzgeç və manqaları üçün çoxilgəklə əks rəbitəli sxem.

Sxeme uyğun ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 - də (7) ifadəsilə tə'yin olunur. Sxeme və ötürmə funksiyasının ifadəsinə

uygun parametrlər aşağıdakı kimidir:

$$\begin{aligned} \rho \cdot \omega_0 &= 1/(R_1 \cdot C_1); & \beta \cdot \omega_0 &= \frac{1}{R_3} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right); \\ \gamma \cdot \omega_0^2 &= \frac{1}{R_3 \cdot C_1 \cdot C_2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \end{aligned} \quad (2.2.6)$$

$C_1$  və  $C_2$  - sərbəst seçilən elementlər kimi götürülsə,

$$\begin{aligned} R_1 &= 1/(\rho \omega_0 C_1); & R_2 &= \beta/[C_1 \cdot (\gamma - \rho \cdot \beta) + \gamma \cdot C_2] \cdot \omega_0 \\ R_3 &= \frac{1}{\beta \cdot \omega_0} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right). \end{aligned} \quad (2.2.7)$$

$R_2$  - real olması üçün  $C_2 > C_1 (\rho \cdot \beta - \gamma)/\gamma$  şərti ödənməlidir.

Məsələ 2.2.2.  $f_0 = 1000$  Hz,  $Q = 5$ ,  $K = 2$  parametrlərə malik buraxma zolaqlı II tertib polinomial süzgecin işlenilməsi tələb olunur.

1) Tələb olunan süzgecin ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də (7) ifadə ilə təyin olunur. Verilənlərdən istifadə etsək, cədvəl 1.4.2-də (9) ifadələrindən  $\rho$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  - parametrləri üçün aşağıdakı qiymətləri alırıq:  $\rho = K/Q = 0,4$ ;  $\beta = 1/Q = 0,2$ ;  $\gamma = 1$ .

2) Süzgecin ötürmə funksiyasının ifadəsi aşağıdakı kimidir:

$$G(S) = \frac{0,2 \cdot \omega_0 \cdot S}{S^2 + 0,2 \cdot \omega_0 \cdot S + \omega_0^2}.$$

3) Sxem elementlərinin qiymətləndirilməsi aşağıdakı kimidir:

$C_1 = 10/f_0$  (mkF) = 0,01 mkF;  $C_1 (\rho \cdot \beta - \gamma)/\gamma < 0$  alınır, deməli,  $C_2$  üçün istənilən qiymət götürülə bilər,  $C_2 = 0,01$  mkF. (2.2.7) ifadələrinə əsasən  $R_1 = 39,79$  kOm;  $R_2 = 1,66$  kOm;  $R_3 = 159,15$  kOm qiymətləndirilir.

İkinci tertib rejektor süzgec və manqalar üçün ÇÖR - sxemi şəkil 2.2.4.- də göstərilmişdir. Sxemin ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də verilmiş (12) ifadə ilə təyin olunur. Sxemə və ötürmə funksiyasına uyğun parametrlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\rho = -R_6 / R_3; \quad \alpha \cdot \omega_0^2 = \gamma \cdot \omega_0^2 = \frac{1}{R_4 \cdot C_1^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$\beta \cdot \omega_0 = 2 / (R_4 \cdot C_1); \quad 2R_1 \cdot R_5 = R_3 \cdot R_4; \quad \alpha = \gamma; \quad C_1 = C_2. \quad (2.2.8)$$

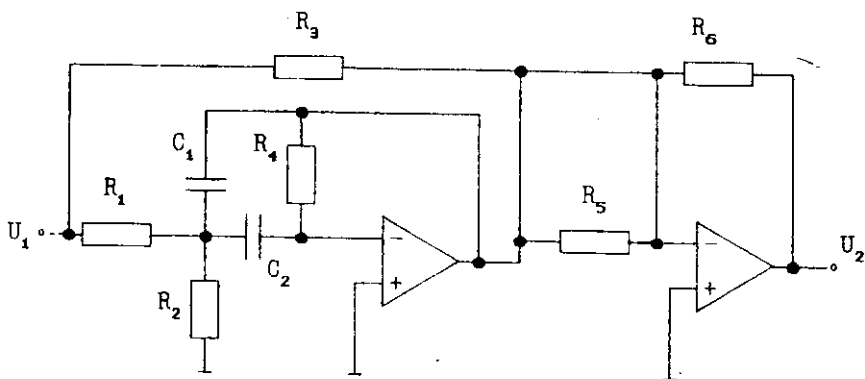
(2.2.8) ifadelerinde  $\alpha = \gamma$  şartından alınır ki, şekil 2.2.4- daki QƏR sxemi ilə II tertib rejektor süzgeçlerden

$$\rho = K; \quad \beta = 1/Q; \quad \gamma = 1 \quad (2.2.9)$$

parametrlərə malik və ya prototipi I tertib aşağı tezlikli mənaqə olan daha yüksək tertibli rejektor süzgeçlərin II tertib mənaqələrindən

$$\rho = K; \quad \beta = 1/C \cdot Q; \quad \gamma = 1 \quad (2.2.10)$$

parametrlərə malik olanlar reallaşdırılır.



Şəkil 2.2.4. Rejektor süzgeç və mənaqələri üçün çoxilləklə əks rəbitəli sxem.

(2.2.9) və (2.2.10) ifadelerinde  $C$  - birinci tertib prototipe uyğun normallaşdırılmış əmsəldir.  $C = 1$  ikinci tertib rejektor süzgeç halına uyğundur. (2.2.8) ifadelerindən:

$$R_1 = C \cdot Q / (2 \cdot \omega_0 \cdot C_1); \quad R_2 = R_1 / (C^2 \cdot Q^2 - 1);$$

$$R_4 = 4 \cdot R_1; \quad R_5 = 2 \cdot R_3; \quad R_6 = K \cdot R_3.$$

(2.2.11)

Burada  $C_1$  və  $R_3$  - sərbəst seçilirler. Seçilmə ehtimalıdır ki, digər müqavimətlər real olsunlar. Məsələn:  $C_1 \sim 10/f_0$  (mkF) seçmək olar və  $K$ -çox böyük olmadıqda  $R_3 = 1/(\omega_0 C_1)$  - kimi qiymətləndirmək olar.

Qeyd 2.2.2: ÇƏR -sxemlərin üstünlüyü sadə olmasında, elementlərin sayının az olmasında, stabilliyin yüksək və müqavimətin kiçik olmasındadır. Daha yüksək tərtibli süzgeçlər yaratdıqda digər süzgeç mənzələrinə bir başa qoşulurlar. ÇƏR-sxemlər invertleyici gücləndirici ( $K < 1$ ) sxem üzrə yığılır. İstifadə olunan ƏG- nin giriş müqaviməti onun girişlərinə qoşulan müqavimətlərdən ən azı 10 dəfə yüksək, ƏG - nin gücləndirmə əmsalı isə  $K_0 \geq 50$   $K$  - olmalıdır. ƏG - də signalın artma sürəti ( $V/mkxsn$ ) çıxış signalın maksimum qiymətindən ən azı  $0,5 \omega_c \cdot 10^{-6}$  dəfə çox olmalıdır. Yüksək tərtiblərdə elementlərin nominallarına tələb daha sərtidir. ÇƏR - sxemi ilə yüksək keyfiyyətlik əmsalına malik süzgeç mənzələ yaratmaq olmur. Sxemin seçilməsində  $K \cdot Q \leq 100$  şərti nəzərə alınmalıdır.  $Q = \sqrt{C/B}$  - kimi hesablanır. ÇƏR - sxemlərdə müqavimətlər eyni əmsala vurularsa və tutumun qiymətləri də həmin əmsala bölünərsə süzgecin işçi karakteristikası dəyişmir.

### 2.3. Polinomial süzgeç və mənzələləri üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxemlər

Asağı tezlik  $II$  tərtib polinomial süzgeç və mənzələləri üçün qeyri-invertleyici ( $K > 0$ ) gücləndirmə əmsallı sxemlərdən biri şəkil 2.3.1- də göstərilmişdir. Sxemdə ƏG və ona qoşulmuş  $R_3$  və  $R_4$  rezistorları gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəyi (GİGM) təşkil etdiyi üçün sxem GİGM - li süzgeç sxemi adlanır. Bu sxem (1.3.9) tənliyi ilə ifadə olunan aşağıdakı parametrlərə malik ötürmə funksiyasını reallaşdırır:

$$C \cdot \omega_c^2 = 1 / (R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2); \quad K = \mu = 1 + R_4 / R_3;$$

$$B \cdot \omega_c = \frac{1}{C_2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{R_2 \cdot C_1} (1 - \mu). \quad (2.3.1)$$



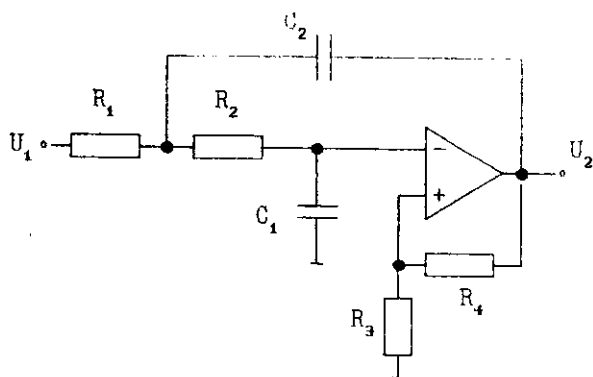
Burada,  $\mu \gg 1$  hem GiGM için, hem de ,süzgəc için güclendirme əmsalidir. (2.3.1) tənliklərini ödəyən müqavimətlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} R_1 &= 2/(B \cdot C_2 + \sqrt{[B^2 + 4 \cdot C(K-1)10^2] - 4 \cdot C \cdot C_1 \cdot C_2}) \cdot \omega_c; \\ R_2 &= 1/(C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot \omega_c^2); \\ R_3 &= K(R_1 + R_2)/(K - 1), \quad K \neq 1; \\ R_4 &= K(R_1 + R_2). \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

$C_1$  və  $C_2$  -sərbəst seçilir,  $R_1$ -in real olması üçün

$$C_1 \leq [B + 4 \cdot C(K - 1)10^2]/(4 \cdot C) \quad (2.3.3)$$

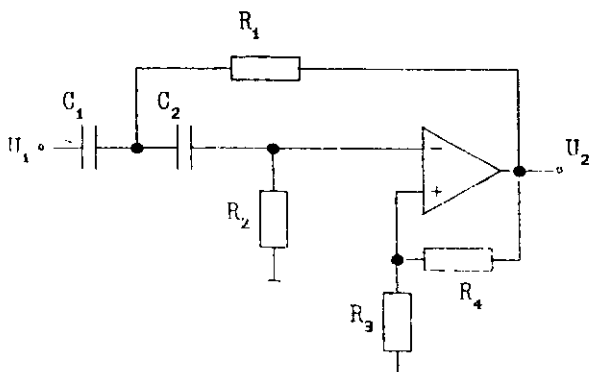
şərti ödənməlidir.  $C_2 \approx 10/f(\text{mkF})$  seçmək əlverişlidir. K=1 halı tələb olunarsa  $R_3 = \infty$  (açıq dövrə),  $R_4 = 0$  (qısa qapanma) götürülür.



Şəkil 2.3.1. Aşağı tezlikli süzgec və manqaları üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxem.

B və C -normalaşdırılmış əmsallar süzgecin növünə və parametrlərinə uyğun §1.2-də göstərildiyi kimi təyin olunurlar.

Yuxarı tezlikli Battervort və Çəbişev süzgec və mañqalar üçün GTGM -11 sxem şəkil 2.3.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.3.2. Yuxarı tezlikli süzgec və mañqaları üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxem.

Sxem aşağıdakı parametrlərlə təyin olunan və cədvəl 1.4.2-də (5) ötürmə funksiyasını reallaşdırır:

$$K = 1 + R_4/R_3; \quad B \cdot \omega_c \cdot C = \frac{1 - K}{R_1 \cdot C_1} + \frac{2}{R_2 \cdot C_1}; \quad \omega_c^2 / C = 1 / (R_1 \cdot R_2 \cdot C_1^2);$$

$$C_2 = C_1. \quad (2.3.4)$$

Sxem üçün  $K > 0$  və (2.3.4) ifadələrindəki müqavimətlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

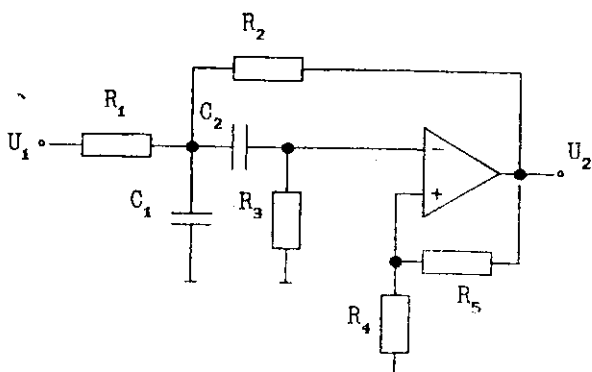
$$R_2 = 4 \cdot C / \{ [B + \sqrt{B^2 + 8 \cdot C \cdot (K - 1)}] \cdot \omega_c \cdot C_1 \};$$

$$R_1 = C / (\omega_c^2 \cdot C_1^2 \cdot R_2); \quad R_3 = K \cdot R_2 / (K - 1); \quad R_4 = K \cdot R_2. \quad (2.3.5)$$

(2.3.5)-də  $C_1$ -sərbəst seçilir,  $C_1 \approx 10 / f_c$  (mkF) seçmək əlverişlidir,  $K = 1$  halı üçün  $R_3 = \infty$ ,  $R_4 = 0$  götürülür. Şəkil 2.3.2 - dəki sxemlə yuxarı tezlikli II tərtib polinomial süzgec və daha yüksək tərtibdə polinomial süzgeclərin yuxarı tezlikli II tərtib mañqaları reallaşdırılır.  $B$  və  $C$  - əmsalları aşağı

tezlikli protitipe uygun normallaşdırılmış əmsallardır. Çox  $Q \leq 10$  olduqda istifadə olunur.

Buraxma zolaqlı II tertib polinomial süzgeç və manqalar üçün GİGM -li sxem şəkil 2.3.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.3.3. Buraxma zolaqlı süzgeç və manqaları üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxem.

Sxem aşağıdakı parametrlərə malik və cədvəl 1.4.2-də (7) ötürmə funksiyasını reallaşdırır:

$$\rho \cdot \omega_0 = \mu / (R_1 \cdot C_1); \quad \beta \cdot \omega_0 = \frac{1}{C_1} \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} (1 - \mu) + \frac{2}{R_3} \right];$$

$$\gamma \cdot \omega_0^2 = \frac{1}{R_3 \cdot C_1^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad \mu = 1 + R_5 / R_4; \quad C_2 = C_1.$$

(2.3.6)

Sxemin müqavimətləri aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$R_1 = \mu / (\rho \cdot \omega_0 \cdot C_1);$$

$$R_2 = 2(\mu - 1) / \left\{ \left[ \rho \left( \frac{2}{\mu} - 1 \right) - \beta + \sqrt{(\rho - \beta)^2 + 8 \cdot \gamma (\mu - 1)} \right] \cdot \omega_0 \cdot C_1 \right\};$$

$$R_3 = \frac{1}{\gamma \cdot \omega_0^2 \cdot C_1^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad R_4 = R_3 \cdot \mu / (\mu - 1); \quad R_5 = \mu / R_3$$

(2.3.7)

Burada  $\alpha_1$  ve  $\beta$  serbest seçilirdir.  $\mu = 2$  götürürsek,  $R_4 = R_5$  olur ve (2.3.7) ifadesinden aşağıdakılar alınır:

$$\begin{aligned} R_1 &= 2/(\rho \cdot \omega_0 \cdot C_1); \\ R_2 &= 2/(\rho \cdot \beta + \sqrt{(\rho - \beta)^2 + 8 \cdot \gamma \cdot \omega_0 \cdot C_1}); \\ R_3 &= \frac{1}{\gamma \cdot \omega_0^2 \cdot C_1^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \end{aligned} \quad (2.3.8)$$

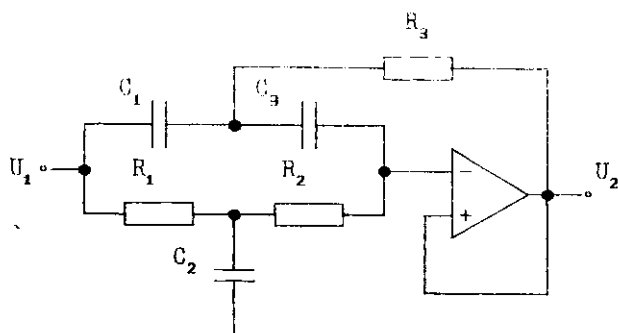
Şekil 2.3.3.- de gösterilen GİGM - II sxemle: a) II tertib buraxma zolaqlı polinomial süzgeç ( $\rho = K/Q$ ,  $\beta = 1/Q$ ,  $\gamma = 1$ ); b) prototipi birinci tertib olan daha yüksek tertibli Battervort, Çebişev, invers Çebişev və ya elliptik süzgeçlərin II tertib məqaları ( $\rho = K \cdot C/Q$ ,  $\beta = C/Q$ ,  $\gamma = 1$ ); v) prototipi II tertib olan daha yüksek tertibli Battervort və Çebişev süzgeçlərin II tertib məqalarından hər ikisi ( $\rho_1 = K_1 \sqrt{C}/Q$ ,  $\beta_1 = D/E$ ,  $\alpha_1 = D^2$ ,  $\rho_2 = K_2 - \sqrt{C}/Q$ ,  $\beta_2 = 1/(D \cdot E)$ ,  $\gamma = 1/D^2$ ) reallaşdırılır.  $E$  və  $D$  - parametrləri cədvəl 1.4.2-də uyğun olaraq (16) və (18) ifadələri ilə qiymətləndirilir.  $B$  və  $C$  - aşağı tezlikli prototipinə uyğun normallaşdırılmış əmsallardır (bax. § 1.4).  $C_1 = 10/f_0$  (mkF) - seçmə əlverişlidir. Sxem  $K \cdot Q \leq 100$  olduqda istifadə olunur.

Rejektor süzgeç üçün GİGM - II sxem şəkil 2.3.4 - de göstərilmişdir.

Sxema uyğun ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də (12) kimidir. Parametrlər aşağıdakı şəkildə təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1; \quad \alpha \cdot \omega_0^2 = \gamma \cdot \omega_0^2 = 1/(R_1 \cdot R_2 \cdot C_1^2); \quad C_2 = 2 \cdot C_1; \quad C_3 = C_1; \\ \beta \cdot \omega_0 &= 2/(R_2 \cdot C_1); \quad 1/R_3 = 1/R_1 + 1/R_2. \end{aligned} \quad (2.3.9)$$

(2.3.9) ifadəsinə əsasən  $\alpha = \gamma$  və  $K = 1$ -dir. Deməli şəkil 2.3.4- sxemi ilə həm II tertib rejektor süzgeç, həm də prototipi I tertib aşağı tezlikli süzgeç məqası olan daha yüksək tertibli rejektor süzgeçin II tertib məqaları reallaşdırılır.



Şekil 2.3.4. Rejektor süzgeç ve mançaları için gerginlikle idare olunan gerginlik menbéli sxem.

(2.3.9) - dan müqavimətləri qiymətləndirmək üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

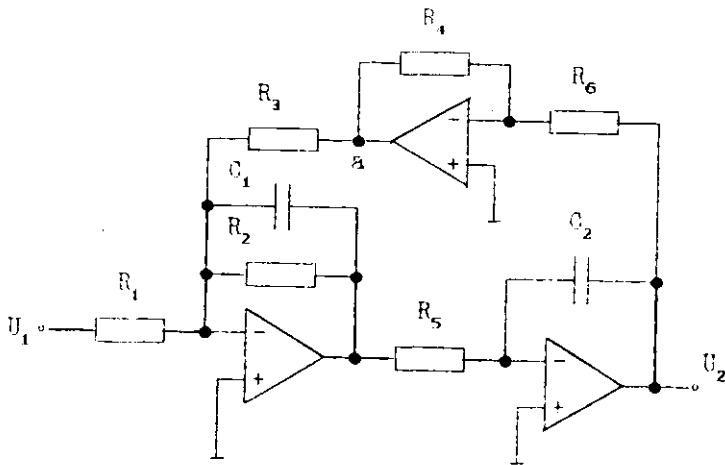
$$R_1 = \frac{\beta}{2 \cdot \alpha \cdot \omega_0 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot C \cdot Q \cdot \omega_0 \cdot C_1}; \quad R_2 = \frac{2}{\beta \cdot \omega_0 \cdot C_1} = \frac{2 \cdot C \cdot Q}{\omega_0 \cdot C_1};$$

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2). \quad (2.3.10)$$

$C_1$  - sərbəst seçilir ( $C_1 \approx 10/f_c$  (mkF)).  $Q > 10$  - olduqda elementlərin qiymətlərində kəskin fərqlə alınır.  $C = 1$  halı II tertib rejektor süzgeç üçündür. II tertib mançalar üçün süzgecin tertibinə və mançanın tipinə uyğun  $C$ - təyin olunur.

## 2.4. Polinomial süzgeç və mənzəlləri üçün bikiqvatrat sxemlər

Aşağı tezlikli polinomial süzgeç və mənzəllər üçün bikiqvatrat sxem şəklil 2.4.1 - də göstərilmişdir.



Şəkil 2.4.1. Aşağı tezlikli süzgeç və mənzəlləri üçün bikiqvatrat sxem ( $R_4 = R_5 = R_6$ ).

Baxmayaraq ki, ÇQR və GCM sxemləri müqayisədə daha çox elementlərdən istifadə olunur, bikiqvatrat sxemlərin stabilliyi yüngül, sazlanması sadədir. Yüksək tərtibli süzgeçlər bikiqvatrat mənzəllərlə daha da işlənir və  $Q = 100$  olan süzgeçlər yaratmağa imkan verir.

Şəkil 2.4.1 - sxemi qeyri-invertleyici təcrübəyə əsasən ( $R = 1$ ) malikdir və aşağıdakı parametrlərlə təyin olunan (1.3.9) fərdi funksiyaları reallaşdırır.

$$G_{\text{dax}} = (R_1 \cdot R_4 \cdot C_1^2)^{-1}; \quad G_{\text{yux}} = (R_2 \cdot C_1)^{-1}; \quad K = R_5 \cdot R_6. \quad (2.4.1)$$

(2.4.1) - dan müqayimətlər təyin oluna bilər.

$$R_1 = (K \cdot C \cdot \omega_c^2 \cdot \omega_1^2 \cdot R_4)^{-1}; \quad \omega_2 = (B \cdot \omega_1 \cdot \omega_c)^{-1};$$

$$R_3 = (C \cdot \omega_1^2 \cdot \omega_c^2 \cdot R_4)^{-1}. \quad (2.4.2)$$

$\omega_1$  ve  $R_4$  - serbest seçilimler,  $\omega_c = 10/f_c$  (mkF) ve  $R_4 = (\omega_c \cdot C_1)^{-1}$  kimi seçilməsi əlverişlidir. Bu zaman (2.4.1) ifadəsindən

$$R_1 = R_4 / (K \cdot C); \quad R_2 = R_4 / B; \quad R_3 = R_4 / C \quad (2.4.3)$$

alınaq.

(2.4.3) - ifadələrindən alınır ki,  $R_2$  - vasitə ilə  $B$  - parametri,  $R_3$  - ilə  $C$  - parametri dəyişdirilir.  $K$  - gücləndirmə əmsali  $R_1$  - la tənzimlənir.  $K < 0$  tələb olunarsa  $U_2$  - çıxış gərginliyini şəkil 2.4.1 - sxemində  $a$  - düyünündən götürmək olar. Bu zaman elementlərin qiymətlərini dəyişdirmək tələb olunur.

Səkil 2.4.1 - sxemi ilə süzgeçlərdən: a) II tərtib aşağı tezlikli süzgeç, b) daha yüksək tərtibli aşağı tezlikli Battervort və Çebışev süzgeçlərin II tərtib mənzəlləri işlənilir. Sxem  $Q \leq 100$  halı üçün yararlıdır.

Yuxarı tezlikli II tərtib polinomial süzgeç və mənzəllər üçün bıkvadrat sxem şəkil 2.4.2 - də verilmişdir.

Sxem üçün  $K < 0$  -dir və aşağıdakı parametrlərə malik cədvəl 1.4.2 -də (5) ötürmə funksiyasını reallaşdırır.

$$K = R_5 / R_4; \quad B \cdot \omega_c / C = 1 / (R_2 \cdot C_1)$$

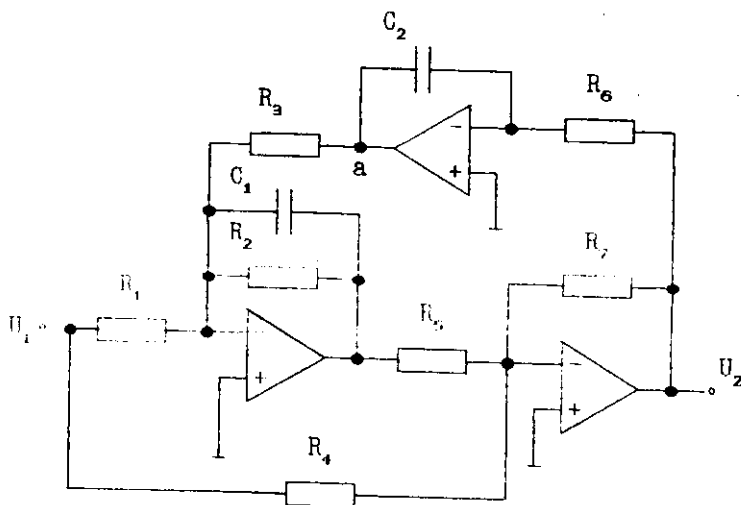
$$\omega_c^2 / \omega = 1 / (R_3 \cdot R_5 \cdot C_1^2); \quad R_1 \cdot R_5 = R_2 \cdot R_4. \quad (2.4.4)$$

$C_1$  və  $R_5$  - serbest seçilir və müqavimətlər aşağıdakı tənliklərlə ifadə olunurlar:

$$R_1 = C / (B \cdot K \cdot \omega_c \cdot C_1); \quad R_2 = K \cdot R_4$$

$$R_3 = C / (C_1^2 \cdot \omega_c^2 \cdot R_5); \quad R_4 = R_5 / K \quad (2.4.5)$$

$\omega_c = 10/f_c$  (mkF) və  $R_5 = 1 / (\omega_c \cdot C_1)$  kimi seçilməsi əlverişlidir.



Şəkil 2.4.2. Yuxarı tezlikli süzgeç və mənzəlləri üçün bikiqvatrat sxem ( $R_5 = R_6 = R_7$ ;  $C_1 = C_2$ ).

Şəkil 2.4.2. -sxemi ilə polinomial süzgeçlərdən a) II tərtib yuxarı tezlikli süzgeç, b) daha yüksək tərtibli Battervort və Çebışev süzgeçlərin II tərtib mənzəlləri işlənir. Sxem  $Q \leq 100$  halı üçün yararlıdır.  $R_4$ -lə  $K$ ,  $R_5$ -lə  $f_c$ ,  $R_2$ -lə xarakteristikanın forması dəyişdirilir.

Buraxma zolaqlı II tərtib polinomial süzgeç və mənzəllər üçün bikiqvatrat sxem şəkil 2.4.3 - də verilmişdir.

Bu sxemlə aşağıdakı parametrlərə malik cədvəl 1.4.2-də (7) ötürmə funksiyalı süzgeç reallaşdırılır ( $K > 0$ ):

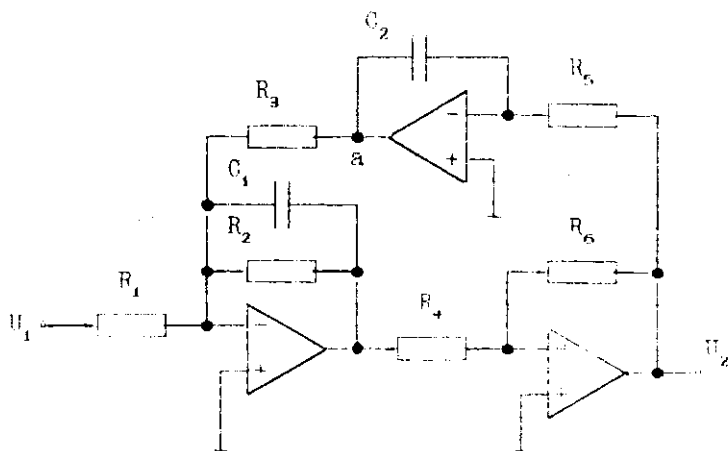
$$\rho \cdot \omega_0 = 1/(R_1 \cdot C_1); \quad \beta \cdot \omega_0 = 1/(R_2 \cdot C_1); \quad \gamma \cdot \omega_0^2 = 1/(R_3 \cdot R_4 \cdot C_1^2). \quad (2.4.6)$$

$K < 0$  almaq üçün çıxış a - düyünündən götürülür.  $C_1$  və  $R_4$  - sərbəst seçilərsə, müqavimətlər

$$R_1 = 1/(\rho \cdot \omega_0 \cdot C_1); \quad R_2 = 1/(\beta \cdot \omega_0 \cdot C_1); \quad R_3 = 1/(\gamma \cdot \omega_0^2 \cdot C_1^2 \cdot R_4) \quad (2.4.7)$$

ifadələrlə qiymətləndirilərler.



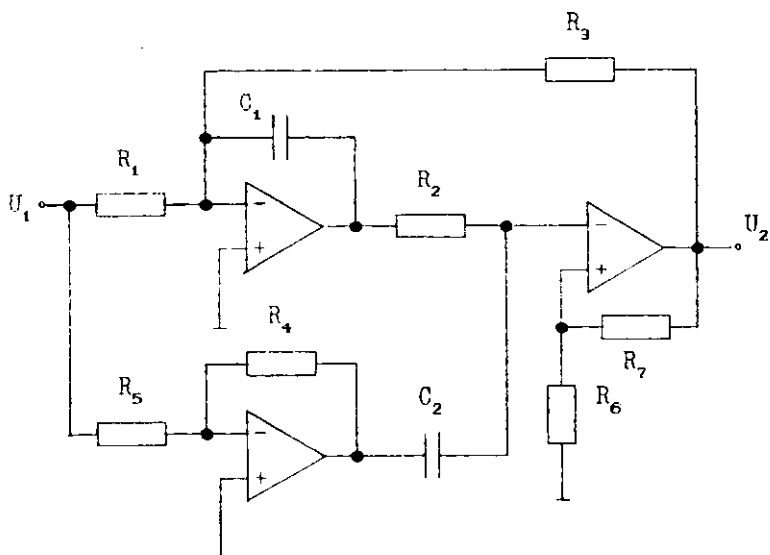


Şekil 2.4.3. Buraxma zolaqlı süzgeç və manqaları üçün bixvadrat sxem ( $R_4 = R_5 = R_6$ ;  $C_1 = C_2$ )

$C_1 = 10/f_0$  (mF) və  $R_4 = R_5 = R_6 = 1/\sqrt{2} \cdot \omega_0 \cdot C_1$  - kimi seçilməsi əlverişlidir. Səzlənmədə  $R_3$  - ilə  $f_0$ ,  $R_2$  - ilə  $Q$ ,  $R_1$  - ilə  $K$  - dəyişdirilir. Sxem  $Q \leq 100$  halı üçün tətbiq olunur. Şekil 2.4.3 - sxemlə süzgeçlərdən a) II tərtib buraxma zolaqlı süzgeç, b) prototipi I tərtib olan daha yüksək tərtibli buraxma zolaqlı Battervort, Çebışev, Invers Çebışev və ya elliptik süzgeçlərin II tərtib manqaları, v) prototipi II tərtib olan buraxma zolaqlı Battervort və Çebışev süzgeçlərin ikinci tərtib manqaları işlənir. Göstərilən halda  $\beta$ ,  $\rho$  və  $\gamma$  parametrləri ədədli 2.4.3-də (9) və (10) a, b, c şərtləri ilə ifadələnmişdir.

2.5. Invers Çebişev ve elliptik süzgeç ve manqaları için gerginlikle idare olunan gerginlik menbelli sxem

Invers Çebişev ve elliptik süzgeç ve manqaları için gerginlikle idare olunan gerginlik menbelli (GİGM) sxem şekil 2.5.1 - de gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1. Invers Çebişev ve elliptik süzgeç ve manqaları için gerginlikle idare olunan gerginlik menbelli sxem.

Bu sxem vasıtasıyla ötürme fonksiyonları cadvöl 1.4.2 -de (3), (6) ve (8) -le ifade olunan II tertib qeyri-polinomial süzgeçler ve manqaları reallaşdırılır. Sxem için  $K < 0$  -dir. Sxemin analizine esasen, ötürme fonksiyonunun parametrleri aşağıdaki kımi tayin olunurlar::

$$\begin{aligned} \rho &= -\mu \cdot R_4 / R_5; & \alpha \cdot \omega_c^2 &= R_5 / (R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2); \\ \beta \cdot \omega_c &= (R_2 \cdot C_2)^{-1}; & \gamma \cdot \omega_c^2 &= \mu (R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2)^{-1}; \\ \mu &= 1 + R_7 / R_6, \end{aligned} \quad (2.5.1)$$

burada  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\mu$  və  $\rho$  seçilənə qədər bütün elementlərin qiymətləri qəbul edilə bilər. Əgər  $\rho$  və  $\mu$  seçilərsə,  $C_1$  və  $C_2$  qiymətləri tapıla bilər.

$$\begin{aligned} R_1 &= \mu \cdot B / (\rho \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_2 &= B / (\rho \cdot \omega_c \cdot C_2); \\ R_3 &= \mu \cdot B / (\gamma \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_4 &= -\rho \cdot R_5 / \mu; \\ R_6 &= \mu \cdot R_2 / (\mu - 1); & \mu \neq 1; & R_7 = \mu \cdot R_2. \end{aligned} \quad (2.5.2)$$

$\mu = 1$  bəli tələb olunarsa  $R_6 = \infty$  (açılır),  $R_7 = 0$  (qısa qapanır) götürülür.

Şəkil 2.5.1-dəki GİCM sxemi ilə II tərtib invers Çebışev və elliptik süzgeçlər və mənzəllərindən aşağı tezlikli, yuxarı tezlikli, buraxma zolaqlı süzgeç və mənzəlləri realizə edilir. §1.4-də qeyd olunanlara əsaslanaraq aşağı tezlikli süzgeç və mənzəllər üçün

$$\rho = K \cdot C / A; \quad \alpha = A; \quad \beta = B; \quad \gamma = C \quad (2.5.3)$$

kiymi təyin olunurlar.

(2.5.3) ifadələrini (2.5.2) - də nəzərə alaraq aşağı tezlikli süzgeç və mənzəlləri üçün

$$\begin{aligned} R_1 &= \mu \cdot B / (K \cdot C \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_2 &= (B \cdot \omega_c \cdot C_2)^{-1}; & R_3 &= K \cdot R_1; \\ R_4 &= K \cdot C \cdot R_5 / (\mu \cdot A); & R_6 &= \mu \cdot R_2 / (\mu - 1); & R_7 &= \mu \cdot R_2, \end{aligned} \quad (2.5.4)$$

alaraq,  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) götürmək əlverişlidir.  $K \leq 10$  və  $Q \leq 10$  olarsa  $C_2 = C_1$  və  $R_5 = 1/(\omega_c \cdot C_1)$  götürmək olar. Onda digər müqavimətlər

$$\begin{aligned} R_1 &= \mu \cdot B \cdot R_5 / (K \cdot C); & R_2 &= R_5 / B; & R_3 &= K R_1 = \mu \cdot B \cdot R_5 / C; \\ R_4 &= K \cdot C \cdot R_5 / (\mu A); & R_6 &= \mu \cdot R_5 / B(\mu - 1); & R_7 &= \mu \cdot R_5 / B \end{aligned} \quad (2.5.5)$$

kiymi təyin olunurlar.  $\mu=2$  seçilsə ifadələr daha da sadələşər.  $K > 10$  və  $Q > 10$  olarsa,  $C_2, R_5$  və  $\mu$  ehtə seçilir ki, (2.5.4)-lə təyin olunan müqavimətlər kəskin fərqlənməsinlər. Məsələn:  $Q > 10$  olarsa  $C_2 > C_1$  götürülməlidir.

Aşağı tezlikli süzgeçlərdən a) II tərtib invers Çebışev və ya elliptik süzgeç, b) daha yüksək tərtibli invers Çebışev və ya elliptik süzgeçlərin II tərtib mənzəlləri, verilənlər  $f_c$  ( $\omega_c = 2\pi f_c$ ) - kəsilmə tezliyi,  $K$  - güclənmə əmsali, MSL - saxlama zolağında minimum zəifləmə, elliptik növlərdə isə həm də PRW - buraxma

zolağında döyülmələrin həddi əsasında baxılan (şək.2.5.1) sxemlə reallaşdırılır. Sxem  $K = R_3/R_1$  - invertlayıcı güclənmə əmsalına malikdir.

Baxılan sxemlə (şək.2.5.1) II tərtib yuxarı tezlikli invers Çebişev və elliptik süzgəc və manqalarını reallaşdırmaq üçün (1.5.1) tənliyində

$$\rho = K; \quad \alpha = 1/A; \quad \beta = B/C; \quad \gamma = 1/C \quad (2.5.6)$$

kimi təyin olunurlar. Burada A, B və C -aşağı tezlikli prototipin normallaşdırılmış əmsallarıdır. (2.5.6)-nı (2.5.2) -də nəzərə alsaq müqavimətlərin təyini üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$R_1 = \mu \cdot A \cdot B / (K \cdot C \cdot \omega_c \cdot C_1); \quad R_2 = C / (B \cdot \omega_c \cdot C_2); \\ R_3 = K \cdot C \cdot R_1 / A; \quad R_4 = K \cdot R_5 / \mu; \quad R_6 = \mu \cdot R_2 / (\mu - 1); \quad R_7 = \mu \cdot R_2. \quad (2.5.7)$$

$C_1 = 10/f_c$  (mκF) seçilir.  $K \leq 10$  və  $Q \leq 10$  olarsa,  $C_2 = C_1$ ,  $R_5 = 1/(\omega_c \cdot C_1)$ ,  $\mu = 2$  seçmək olar.  $K > 10$  və  $Q > 10$  olduqda  $C_2$ ,  $R_5$  və  $\mu$  ilə seçilməlidir ki, digər müqavimətlərin qiymətləri kəskin fərqlənməsinlər. Sxem  $K = \mu \cdot R_4/R_5$  - gücləndirmə əmsalını təmin edir.  $\mu = 1$  tələb olunarsa  $R_7 = 0$ ,  $R_6 = \infty$  götürülür.

Parametrlərin (2.5.6) və (2.5.7) ifadələri ilə təyini şəkil 2.5.1-sxemi ilə elliptik və ya invers Çebişev süzgeclərdən yuxarı tezlikli II tərtib və daha yüksək tərtibli yuxarı tezlikli süzgeclərin II tərtib manqalarını reallaşdırmağa imkan verir.

§1.4 -də qeyd olunduğu kimi, prototipi II tərtib qeyri polinomial süzgəc manqası olan daha yüksək tərtibli buraxma zolaqlı elliptik və ya invers Çebişev süzgəc manqası 4 tərtibli və bu manqanı hər birinin ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də (8)-lə ifadə olunan iki ədəd II tərtib buraxma zolaqlı manqalar kimi ifadə etmək olar. Şəkil 2.5.1-də göstərilən GİGM sxemi, uyğun  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  -parametrlərini seçməklə, hər iki manqanı reallaşdırmağa imkan verir. I manqa üçün uyğun parametrlər cədvəl 1.4.2-də (11a) II manqa üçün isə (11,b) ifadələri ilə qiymətləndirilir.

Cədvəl 1.4.2-də (11 a,b) ifadələrini müqavimətlərin təyini üçün (1.5.2) də nəzərə alsaq, 2.5.1 - sxemi ilə reallaşdırılan I manqa üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$R_1 = \frac{\mu \cdot D \cdot \sqrt{A/C}}{K \cdot A_1 \cdot E \cdot \omega_0 \cdot C_1}; \quad R_2 = \frac{E}{D \cdot \omega_0 \cdot C_2}; \quad R_3 = \frac{\mu}{D \cdot E \cdot \omega_0 \cdot C_1};$$

$$R_4 = K \cdot R_3 \cdot \sqrt{C/A} / \mu; \quad R_6 = \mu \cdot R_2 / (\mu - 1); \quad R_7 = \mu \cdot R_2. \quad (2.5.8)$$

II mənqə üçün:

$$R_1 = \frac{\mu \cdot A_1 \cdot \sqrt{A/C}}{K \cdot D \cdot E \cdot \omega_0 \cdot C_1}; \quad R_2 = \frac{D \cdot E}{\omega_0 \cdot C_2}; \quad R_3 = \frac{\mu \cdot D}{E \cdot \omega_0 \cdot C_1};$$

$$R_4 = K \cdot R_3 \cdot \sqrt{C/A} / \mu; \quad R_6 = \mu \cdot R_2 / (\mu - 1); \quad R_7 = \mu \cdot R_2. \quad (2.5.9)$$

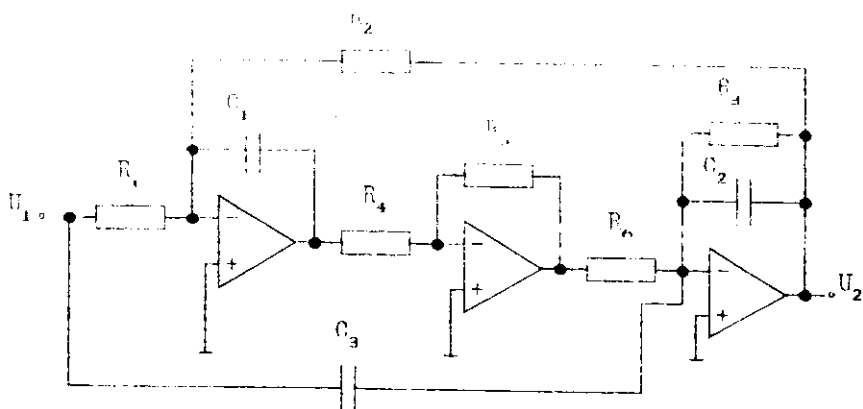
alınır. Hər iki mənqə üçün  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_3$  və  $\mu \geq 1$  sərbəst seçilir.  $C_1 = 10/\tau$  (mkF) götürmək əlverişlidir.  $K < 10$  və  $Q < 10$  olarsa  $C_2 = C_1$ ,  $R_3 = 1/(\omega_0 C_1)$ ,  $\mu = 2$  kimi götürmək olar.  $K > 10$  və  $Q > 10$  olarsa  $C_2$ ,  $R_3$  və  $\mu$  ələ seçilməlidir ki, digər təyin olunan müqavimətlər kəskin fərqlənməsinlər.  $\mu = 1$  halı (gərginlik təkrarlayıcısı) tələb olunarsa,  $R_7 = 0$  (qısa qapanır) və  $R_6 = \infty$  (açılır) götürülür. Sxem üçün  $K < 0$ -dir. Sxemi  $Q \leq 100$  halı üçün tətbiq etmək əlverişlidir ( $Q = E$ ).  $R_4/R_3$  nisbətini dəyişdirməklə I mənqədə  $A_1 > D^2$ , ikinci mənqədə isə  $A_1 < D^2$  təmin olunur.  $R_2$ -ni dəyişdirməklə  $K$  -tənzim olunur.

Səkil 2.5.1-də göstərilən GİGM sxemi ilə aşağıda göstərilən rejektor elliptik və invers Çebisev süzgeç və mənqələri reallaşdırılır: a) II tərtib rejektor süzgeç ( $\rho = K$ ,  $\alpha = \gamma = 1$ ,  $\beta = 1/Q$ ); b) prototipi aşağı tezlikli I tərtib mənqə olan daha yüksək tərtibli rejektor süzgeçlərin II tərtib mənqələri ( $\rho = K$ ,  $\alpha = \gamma = -1$ ,  $\beta = 1/(C \cdot Q)$ ); v) prototipi II tərtib polinomial süzgeç mənqələri olan və parametrləri cədvəl 1.4.2 -də (14 a,b) ilə qiymətləndirilən daha yüksək tərtibli rejektor süzgeçin hər iki II tərtib mənqəsi; q) prototipi II tərtib qeyri-polinomial mənqələr olan və parametrləri cədvəl 1.4.2 -də (15 a,b) ilə qiymətləndirilən daha yüksək tərtibli rejektor süzgeçin hər iki II tərtib mənqəsi.

Baxılan rejektor süzgeç və mənqələrinin sxemlərinə uyğun müqavimətlər (2.5.2) ifadələri ilə təyin olunurlar. Parametrlərdən  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_3$  və  $\mu \geq 1$  -sərbəst seçilir. Onların seçilməsi bundan əvvəl baxdığımız GİGM -sxemlə reallaşdırılan buraxma zolaqlı süzgeçdə olduğu kimidir.

## 2.6. Elliptik süzgəc və maqalaları üçün üç kondensatorlu sxem

Invers Çebışev və elliptik süzgəc və maqalaları üçün üç kondensatorlu sxem şəkil 2.6.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.6.1. Elliptik süzgəc və maqalaları üçün üç kondensatorlu sxem ( $R_4 = R_5 = R_6$ ).

Bu sxem vasitəsilə ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 -də (8)-lə ifadə olunan II tertib süzgəclər və maqalaları reallaşdırılır. Sxemin analizinə əsasən ötürmə funksiyasının parametrləri aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} \rho &= -C_3/C_2; & \alpha \cdot \omega_0^2 &= 1/(R_1 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3); \\ \beta \cdot \omega_0 &= 1/(R_3 \cdot C_2); & \gamma \cdot \omega_0^2 &= 1/(R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2). \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

Sxem invertlayıcı gücləndirmə əmsalına malikdir ( $K < 0$ ).  $C_1$ ,  $C_2$  və  $R_4$  - sərbəst seçilən elementlər kimi qəbul olunsalar, digər elementlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} C_3 &= -\rho \cdot C_2; & R_1 &= 1/(R_4 \cdot \rho \cdot \alpha \cdot \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2); \\ R_2 &= 1/(R_4 \cdot \gamma \cdot \omega_0^2 \cdot C_1 \cdot C_2); & R_3 &= 1/(\beta \cdot \omega_0 \cdot C_2). \end{aligned} \quad (2.6.2)$$

Şəkil 2.6.1 - də göstərilən sxemlə II tertib invers Çebışev və elliptik süzgəclərdən və maqalalarından aşağı tezlikli, yuxarı

tezlikli, buraxma zolaqlı, rejektor süzgeç və manqaları reallaşdırılır.

Aşağı tezlikli süzgeç və manqalar üçün (2.5.3) ifadələrini (2.6.2)-də nəzərə alsaq, sxem elementlərinin qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$C_3 = K \cdot C \cdot C_2 / A; \quad R_1 = 1 / (R_4 \cdot K \cdot C \cdot \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_2);$$

$$R_2 = K \cdot R_1; \quad R_3 = 1 / (B \cdot \omega_c \cdot C_2). \quad (2.6.3)$$

Burada A, B, və C - II tərtib aşağı tezlikli İvers Çebuşev və ya elliptik süzgeç manqaları üçün təyin olunan (bax §1.3) normallaşdırılmış əmsallardır.  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) seçilməsi əlverişlidir.  $C_2$  ələ seçilməlidir ki,  $R_3$  münasib qiymət alsın.  $R_4$  isə ələ seçilməlidir ki,  $R_1$  və  $R_2$  münasib qiymətlər alsınlar. Adətən Q - nün böyük qiymətlərində  $C_2$  kiçik qiymət alır.

Məsələ 2.6.1. Üç kondensatorlu sxemlə  $K = 16$ ,  $f_c = 10^3$  Hs,  $\alpha_1 = 0,5$  dB,  $\alpha_2 = 60$  dB parametrlərə malik  $n = 8$  tərtib aşağı tezlikli elliptik süzgecin elektrik sxeminin elementlərinin qiymətləndirilməsi tələb olunur.

Həll:  $n = 8$  tərtibli təmin etmək üçün  $G$  funksiyası cədvəl 1.4.2-də (3)-lə ifadə olunan 4 ədəd II tərtib elliptik süzgeç manqaları işləməlidir.  $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$  kimi qəbul etmək olar. Normallaşdırılmış A, B və C əmsallarının qiymətlərini 12, əlavə VI-dən seçmək olar:

	A	B	C	$Q = \sqrt{C/B}$
I manqa	1,285297	0,603927	0,179641	0,702
II manqa	2,595702	0,351421	0,569727	2,148
III manqa	16,917537	0,144303	0,879065	6,497
IV manqa	1,514335	0,036505	1,006426	27,481

Göründüyü kimi I manqa üçün  $Q = 0,702$  kiçik, IV manqa üçün isə  $Q = 27,481$  böyükdür. Bu iki nala baxmaq kifayətdir.

I manqa:  $C_1 = 10/f_c = 0,01$  mkF seçirik; (2.6.3) ifadələrinə əsasən  $C_3 = 0,2795 \cdot C_2$ ;  $R_1 = 7,0511 / (R_4 \cdot C_2)$ ;  $R_2 = 14,1022 / (R_4 \cdot C_2)$ ;  $R_3 = 163,53 \cdot 10^{-6} / C_2$  alırıq.  $C_2 = 0,01$  mkF seçilsə  $R_3 = 2,635$  kOm münasib qiymətdir.  $R_4 = 10$  kOm seçsək,  $R_1 = 7,051$  kOm,  $R_2 = 5,034$  kOm alırıq.

IV manqa:  $C_1 = 0,01$  mkF;  $C_3 = 1,329 \cdot C_2$ ;  $R_1 = 1,259 / (R_4 \cdot C_2)$   $R_2 = 2,517 / (R_4 \cdot C_2)$ ;  $R_3 = 1,36 \cdot 10^{-3} / C_2$  alırıq.  $C_2 = 0,1$  mkF seçsək

$R_3 = 13,6 \text{ k}\Omega$  münasib qiymətdir.  $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$  götürülsə,  $R_1 = 2.517 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 5.034 \text{ k}\Omega$  münasib qiymətlər olar. II və III mənzillər üçün də uyğun hesablamalar aparılır və tələb olunan süzgəç mənzillərinin kaskadlarla birləşdirilməsi ilə yaradılır.

Şəkil 2.6.1-də göstərilən sxemlə: a) yuxarı tezlikli invers Çebişev və ya elliptik süzgəcləri, b) daha yüksək tərtibdə invers Çebişev və ya elliptik süzgəclərin II tərtib yuxarı tezlikli mənzilləri işlənir. Bu hallar üçün ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də (6), parametrlərinin təyini (2.5.6), sxem elementlərinin qiymətləndirilməsi (2.6.2) ifadələri ilə yerinə yetirilir.

Verilənlər: a)  $f_c$  - kəsilmə tezliyi, b)  $K$  - mənzillərin gücləndirmə əmsali, v)  $\alpha_2$  - saxlama zolağında minimum udulma və əlavə olaraq elliptik süzgəç üçün  $\alpha_1$  - buraxma zolağında döyümlərin hüdudu əsasında II tərtib yuxarı tezlik mənzilləri üçün üç kondensatorlu sxemin (şəkil 2.6.1) hesablanması aşağıdakı alqoritmlə aparılır:

1) Prototip seçilir və uyğun  $A$ ,  $B$  və  $C$  - normallaşdırılmış əmsallar təyin olunurlar (bax. § 1.4); 2)  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) seçilir; 3)  $Q = \sqrt{C}/B$  qiymətləndirilir.  $Q < 10$  olarsa  $C_2 \approx C_1$  kimi,  $Q > 10$  olarsa,  $C_2 \approx 10 \cdot C_1$  kimi götürülür.  $C_2$  ilə seçilir ki,  $R_3$  münasib qiymət alır,  $R_4$  ilə seçilir ki,  $R_1$  və  $R_2$  münasib qiymətlər alırlar. 4) Elementlər aşağıdakı ifadələrlə qiymətləndirilir:

$$\begin{aligned} C_3 &= K \cdot C_2; & R_1 &= A / (R_4 \cdot \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_3); \\ R_2 &= K \cdot C \cdot R_1 / A; & R_3 &= C / (B \cdot \omega_c \cdot C_2). \end{aligned} \quad (2.6.4)$$

Üç kondensatorlu elliptik süzgəç sxemi ilə (şəkil 2.6.1) prototipi II tərtib süzgəç mənzili olan süzgəclərdən buraxma zolaqlı invers Çebişev və ya elliptik süzgəcin II tərtib hər iki mənzili işlənir.

Hər iki mənzillərin ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 -də (8),  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  parametrləri (11. a, b),  $E$ ,  $D$ ,  $A_1$  - isə uyğun olaraq (16), (18) və (19) ifadələri ilə təyin olunurlar. Elementlər (2.6.1) və (2.6.2) ifadələri ilə qiymətləndirilir.

Verilənlər:  $f_0$  - mərkəzi tezlik,  $K$  - gücləndirmə əmsali və  $Q$  - keyfiyyətlik əmsali əsasında sxemin hesablanması aşağıdakı alqoritm üzrə aparılır:



1) Prototipe uygun A, B ve C - normalleştirilmiş əmsallar təyin olunurlar (§1.2, §1.4); 2)  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) seçilir. E, D və  $A_1$  qiymətləndirilir; Manqa üçün  $Q = E/D$  -dir.  $Q \leq 10$  olarsa  $C_2 = C_1$  götürmək olar,  $Q > 10$  olarsa  $C_2 > C_1$  götürülməlidir və  $R_1$  seçilir ki,  $R_1$  və  $R_2$  münasib qiymətlər alırlar; 3) aşağıdakı ifadələrlə sxemə uyğun elementlər qiymətləndirilir:

I manqa:

$$C_3 = K_1 \sqrt{C/A} \cdot C_2; \quad R_1 = 1/(R_4 \cdot A_1 \cdot \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_3);$$

$$R_2 = \frac{K_1 \cdot A_1 \cdot R_1}{D^2} [(C/A)^{1/2}]; \quad R_3 = E/(D \cdot \omega_c^2 \cdot C_2). \quad (2.6.5)$$

II manqa

$$C_3 = K_2 \sqrt{C/A} \cdot C_2; \quad R_1 = A_1/(R_4 \cdot \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_3);$$

$$R_2 = \frac{K_2 \cdot D^2}{A_1} \sqrt{C/A} \cdot R_1; \quad R_3 = D \cdot E \cdot (\omega_c^2 \cdot C_2). \quad (2.6.6)$$

$K = K_1 \cdot K_2$  - kəfi seçilir.

Üç kondensatorlu elliptik süzgeç sxemi (şəkil 2.6.1) əsasında işlənən rejektor süzgeç və manqalar aşağıdakılardır:

a) II tərtib rejektor süzgeç; b) prototipi I tərtib süzgeç manqası olan II tərtib rejektor süzgeç manqaları; v) prototipi II tərtib polinomial süzgeç manqası olan rejektor süzgecin hər iki II tərtib manqaları; q) prototipi II tərtib qeyri-polinomial süzgeç manqası olan rejektor süzgecin hər iki II tərtib manqaları.

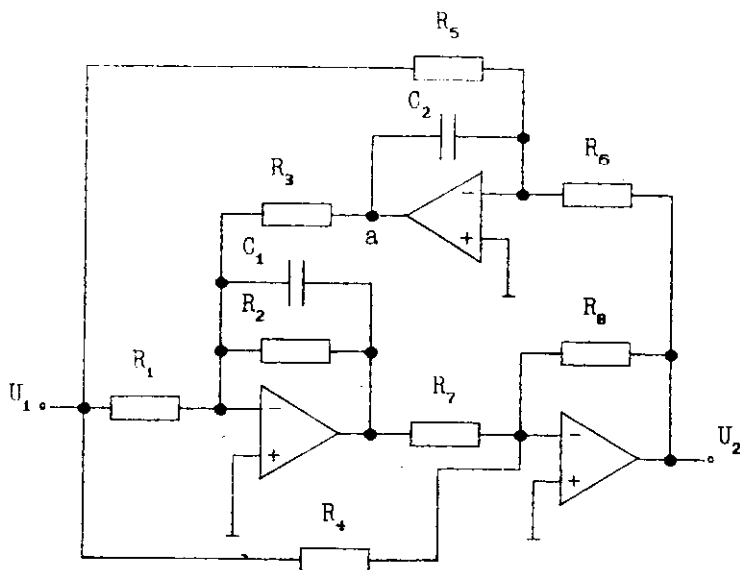
Üç kondensatorlu sxemli rejektor süzgeçlər və ya manqaları verilənlər:  $f_c$  - mərkəzi tezlik; K - süzgeç və ya manqa-nın gücləndirmə əmsalı; Q-keyfiyyətlik əmsalı;  $q_2$  - invers Çebişev və elliptik növlər üçün saxlama zolağında minimum udulma;  $q_1$  - elliptik süzgeç növü üçün buraxma zolağında maksimum udulma əsasında işlənirlər.

Sadələnmə halları üçün ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2-də (12) tlb. sxemə uyğun elementlərin qiymətləndirilməsi və seçilməsi (2.6.1) və (2.6.2) ifadələri ilə,  $E, D, R_1$  və  $A_1$  -parametrləri uyğun olaraq cədvəl 4.2.1-də (20), (21) və (22) ifadələri ilə təyin olunurlar. A, B və C parametrləri prototiplərə uyğun təyin olunan normalleştirilmiş əmsallardır. Rejektor süzgeç

ve manqaların sadalanmış növləri üçür  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  -parametrlərinin ifadələri cədvəl 1.4.2 -də verilmişdir: a)- bəndi üçün (13) ifadəsi ( $C = 1$ ); b) -bəndi üçün (13) ifadəsi; v)-bəndi üçün I manqa (14 a), II manqa (14 b) ifadələri; q)-bəndi üçün I manqa (15 a), II manqa (15 b) ifadələri. Bütün hallarda  $C_1$ ,  $C_2$  və  $R_4$  -sərbəst seçilir.  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) -alverişli sayılır,  $C_2$  və  $R_4$  -elə seçilməlidir ki, digər elementləri münasib qiymətləndirmək mümkün olsun. Məsələn:  $Q \leq 10$  və  $K \leq 10$  olarsa,  $C_2 \approx C_1$ ,  $R_4 = 1/(\omega_0 \cdot C_1)$  kimi seçmək olar.

## 2.7. Elliptik süzgeç və manqaları üçün bkvadrat sxem

Ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 -də (12) -lə ifadə olunan sxemlərdən biri elliptik süzgeç və manqaları üçün bkvadrat sxemdir (şəkil 2.7.1).



Şəkil 2.7.1. Elliptik süzgeç və manqaları üçün bkvadrat sxem ( $R_7 = R_8$ ).

Bu sxem vasitəsilə II tərtib invers Çebışev və ya elliptik

süzgəcə və mənzələrinə aşağı tezlikli, yuxarı tezlikli, buraxma zolaqlı və rejektor olanlar işlənirlər. Əməli funksiyasına və prinsipial elektrik sxemə uyğun parametrlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$\begin{aligned} \rho &= -R_7/R_4; & \alpha \cdot \omega_c^2 &= R_4/(R_3 \cdot R_5 \cdot R_7 \cdot C_1 \cdot C_2); \\ \gamma \cdot \omega_c^2 &= 1/(R_3 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2); & \beta \cdot \omega_c^2 &= 1/(R_2 \cdot C_1); \\ R_2 \cdot R_4 &= R_1 \cdot R_7. \end{aligned} \quad (2.7.1)$$

burada  $\omega_c$  - aşağı və yuxarı tezlikli süzgeçlər üçün signalın kəsilmə tezliyi, buraxma zolaqlı və rejektor süzgeçlər üçün isə mərkəzi tezliktir ( $\omega_0 = \omega_c$ ). Sxemin (şəkil 2.7.1) elementlərindən  $C_1$ ,  $C_2$  və  $R_7$  - sərbəst seçilərsə, digər elementlər aşağıdakı ifadələrlə qiymətləndirilir:

$$\begin{aligned} R_1 &= -1/(\rho \cdot \beta \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_2 &= -\rho \cdot R_1; & R_3 &= (\gamma^{1/2} \cdot \omega_c \cdot C_1)^{-1}; \\ R_4 &= -R_7/\rho; & R_5 &= -\gamma^{1/2}/(\rho \cdot \alpha \cdot \omega_c \cdot C_2); & R_6 &= R_3 \cdot C_1/C_2. \end{aligned} \quad (2.7.2)$$

Şəkil 2.7.1-də göstərilən sxem invertlayıcı gücləndirmə əmsalına malikdir ( $K < 0$ ). Bu sxem vasitəsilə aşağı tezlikli invers Çebisev və ya elliptik süzgeçlərdən: a) II tərtib süzgeç, b) daha yüksək tərtiblərin II tərtib mənzələri işlənir. Bu süzgeçlər üçün  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  - nın (2.5.3) ifadələrini (2.7.2) - də nəzərə alsaq müqavimətlər aşağıdakı ifadələrlə qiymətləndirilir:

$$\begin{aligned} R_1 &= A/(K \cdot B \cdot C \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_2 &= 1/(B \cdot \omega_c \cdot C_1); \\ R_3 &= 1/(C^{1/2} \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_4 &= A \cdot R_7/(K \cdot C); \\ R_5 &= 1/(C^{1/2} \cdot K \cdot \omega_c \cdot C_2); & R_6 &= R_3 \cdot C_1/C_2. \end{aligned} \quad (2.7.3)$$

burada A, B və C - normallaşdırılmış əmsallardır (bax. § 1.3).

Verilənlər:  $f_c$  - kəsilmə tezliyi; K - gücləndirmə əmsalı;  $\alpha_2$  - saxlama zolağında minimum udulma; elliptik süzgeçlər üçün isə həm də  $\alpha_1$  - buraxma zolağında maksimum udulma parametrləri əsasında sxemin hesablanması aşağıdakı alqoritmlə aparılır:

1) Normallaşdırılmış A, B, və C - əmsalları təyin olunur (§1.2); 2)  $C_1 = 10/f_c$  (mkF) - seçilir və (2.7.3) ifadələri ilə müqavimətlər qiymətləndirilir. Bu zaman  $C_2$  və  $R_7$  -lə seçilir ki, digər elementlər münasib qiymətlər alsınlar. Məsələn:  $K \leq 10$  və  $Q \leq 10$  olarsa  $C_2 \approx C_1$  və  $R_7 = 1/(\omega_c \cdot C_2)$  seçmək olar.

Sxem (şək 2.7.1) vasitəsilə yuxarı tezlikli invers Çebisev və elliptik süzgeçlərdən - a) II tertib süzgeç. b) daha yüksək tertibli süzgeçlərin II tertib mənzələri işlənirlər. Bu süzgeçlər üçün  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  - parametrlərin prototipe uyğun A, B və C - normallaşdırılmış əmsalları ilə ifadəsi (2.5.6) kimidir. (2.5.6) ifadələrini (2.7.2)-də nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} R_1 &= C/(K \cdot B \cdot \omega_c \cdot C_1); & R_2 &= K \cdot R_1; & R_3 &= C^{1/2}/(\omega_c \cdot C_1); \\ R_5 &= A/(K \cdot C^{1/2} \cdot \omega_c \cdot C_2); & R_6 &= C_1 \cdot R_3/C_2; & R_4 &= R_7/K, \end{aligned} \quad (2.7.4)$$

alırıq.  $C_1$ ,  $C_2$  və  $R_7$  - sərbəst seçilir.

Nəzərə alsaq ki, A, B və C - əmsalları aşağı tezlikli prototipe uyğun təyin olunurlar və müqavimətlər (2.7.4) ifadələri ilə qiymətləndirilir, sxem elementlərinin seçilməsinə qoyulan digər şərtlər yuxarıda baxdığımız aşağı tezlikli süzgeçdə olduğu kimidir.

Şəkil 2.7.1-də göstərilən sxem vasitəsilə buraxma zolaqlı süzgeç və mənzələrdən prototipi II tertib invers Çebisev və ya elliptik süzgeç mənzəsi olan daha yüksək tertibli süzgeçin II tertib cüt mənzələrlə işlənənləri reallaşdırılır. Hər iki mənzənin ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 -də (12) -lə,  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  - parametrləri (11 a, b) ilə, E, D və  $A_1$  - isə uyğun olaraq (16), (18) və (19) ifadələri ilə təyin olunurlar. A, B və C - parametrlərinin prototipe uyğun əmsallar olduğunu nəzərə alsaq (2.7.2) ifadələrini baxılan mənzələr üçün aşağıdakı kimi yazmaq olar:

I mənzə :

$$\begin{aligned} R_1 &= E \cdot (A/C)^{1/2} / (K_1 \cdot D \cdot \omega_0 \cdot C_1); & R_2 &= K_1 \cdot R_1 \cdot (C/A)^{1/2}; \\ R_3 &= 1/(D \cdot \omega_0 \cdot C_1); & R_4 &= (A/C)^{1/2} \cdot R_7/K_1; \\ R_5 &= D \cdot (A/C)^{1/2} / (K_1 \cdot A_1 \cdot \omega_0 \cdot C_2); & R_6 &= C_1 \cdot R_3/C_2. \end{aligned} \quad (2.7.5)$$

II mənzə :

$$\begin{aligned} R_1 &= D \cdot E \cdot (A/C)^{1/2} / (K_2 \cdot \omega_0 \cdot C_1); & R_2 &= K_2 \cdot R_1 \cdot (C/A)^{1/2}; \\ R_3 &= D/(\omega_0 \cdot C_1); & R_4 &= (A/C)^{1/2} \cdot R_7/K_2; \\ R_5 &= A_1 \cdot (A/C)^{1/2} / (K_2 \cdot B \cdot \omega_0 \cdot C_2); & R_6 &= C_1 \cdot R_3/C_2. \end{aligned} \quad (2.7.6)$$

Hər iki mənzə üçün  $C = 10/f$  (mkF) seçilir.  $K_1$ ,  $K_2$  və  $Q = E$  -nin qiymətlərindən asılı olaraq  $C_2$  və  $R_7$  ehtiva seçilir ki,

digər elementlər münasib qiymətlər alırlar

Sxem (şəkil 2.7.1) aşağıdakı invers Qeбіsev və ya elliptik rejektor süzgec və manqaların işlənilməsində istifadə olunur: a) II tərtib rejektor süzgec; daha yüksək tərtibli rejektor süzgec manqalarından - b) prototipi I tərtib süzgec manqası olan II tərtib rejektor süzgec manqaları; v) prototipi II tərtib polinomial süzgec manqası olan daha yüksək tərtibli rejektor süzgecin hər iki II tərtib manqası; 2) prototipi II tərtib qeyri polinomial süzgec manqası olan daha yüksək tərtibli rejektor süzgecin hər iki ikinci tərtib manqası.

Sadalanən süzgec və manqaları verilənlər:  $f_0$  - mərkəzi tezlik;  $K$  - güclənmə əmsali;  $Q$  - keyfiyyətlik əmsali; invers Qeбіsev və elliptik süzgeclər üçün  $\alpha_2$  - saxlama zolağında minimum udulma; elliptik süzgeclər üçün  $\alpha_1$  - buraxma zolağında maksimum udulma parametrləri əsasında işlənilirlər.

Uyğun sxemlərin işlənilməsində cədvəl 1.4.2 -dən a) bəndi üçün (13) ( $C = 1$ ), b) bəndi üçün (13). v) bəndi üçün (14 a,b), q) bəndi üçün (15 a,b) ifadələrilə təyin olunan  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  və  $\gamma$  - parametrləri (12) ötürmə funksiyasının ifadəsində və (2.7.2) ifadələrilə sxeme uyğun müqavimətlərin qiymətləndirilməsində istifadə olunurlar. Göstərilən ifadələrdə  $A$ ,  $B$  və  $C$  - əmsalları uyğun prototipin normallaşdırılmış əmsalları.  $E_1$ ,  $D_1$  və  $A_2$  uyğun olaraq cədvəl 1.4.2-də (20), (21) və (22) ifadələrilə təyin olunan parametrlərdir. Elliptik süzgec sxeminin rejektor halı üçün hesablamalarda  $C_1 = 10/f_0$  (mkF) götürülür.  $C_1$  və  $R_7$  ele seçiliələr ki, digər elementlər münasib qiymətlər alsınlar. Məsələn,  $K \leq 10$  və a) və b) bəndləri üçün  $Q \leq 10$ , v) və q) bəndləri üçün  $E_1 \leq 10$  olarsa  $C_2 \approx C_1$ ,  $R_7 = 1/(\omega_0 \cdot C_2)$  götürmək olar. Sxemin (şəkil 2.7.1) sadələşməsində  $\alpha_1$  və ya  $R_3$  gücləndirmə əmsali  $K$  - nin dəyişdirilməsində  $R_2$  keyfiyyətlik əmsali  $Q$  - nün dəyişdirilməsində,  $R_3$  mərkəzi tezliyin dəyişdirilməsində  $R_4$  saxlama tezliyinə minimum udulmanın təminində istifadə olunurlar.

### 3. Məsələ həlli nümunələri və göstərişlər

İstənilən süzgeç növünün ötürmə funksiyasının tərtibi prototipe qoyulan tələblərin təyin olunmasından başlayır. İlk növbədə, prototipin normallaşdırılmış  $\Omega$  - saxlama tezliyi təyin olunur. Müxtəlif süzgeç növləri üçün  $\Omega$  - tezliyinin təyininin ifadələri cədvəl 1.4.1 - də verilmişdir.

Məsələ 3.1.  $\alpha_{\max} = 3$  dB signal səviyyəsinə uyğun saxlama tezlikləri  $f_{c1} = 17,78$  kHz,  $f_{c2} = 19,4$  kHz;  $\alpha_{\min} = 40$  dB signal səviyyəsinə uyğun saxlama tezlikləri  $f_1 = 15,4$  kHz,  $f_2 = 20,3$  kHz olan buraxma zolaqlı süzgeç prototipinə qoyulan tələbləri təyin etməli.

Həlli: "Math Cad" tətbiqi proqramlar paketində tərtib olunmuş "Filter elliptic" proqramının mətnində nəticələr verilmişdir.

Mərkəzi  $f_0$  - tezliyi  $f_0^2 = f_{c1} \cdot f_{c2} = f_1 \cdot f_2$  - simmetriklilik şərtinə əsasən qiymətləndirilir. Bu şərtin ödənməsi üçün  $f_1$  və ya  $f_2$  - tezliklərindən biri dəyişdirilməlidir.  $f_1$  - dəyişdirilir və simmetriklilik şərtindən  $f_1 = 15,58$  kHz,  $f_0 = 17,78$  kHz qiymətləndirilir. Süzgecin keyfiyyətlik əmsalı  $Q = f_0 / (f_{c2} - f_{c1}) = 5,736$  -dir. Prototipinə uyğun normallaşdırılmış tezlik cədvəl 1.4.1 - də buraxma zolaqlı süzgeç üçün uyğun ifadə ilə təyin olunur,  $\Omega = 1,523$  alırıq. Beləliklə, buraxma zolaqlı süzgeç üçün verilən şərtlərə uyğun prototipe qoyulan tələblər aşağıdakı kimidir:  $0 \leq \Omega \leq 1$  oblastda  $\alpha_{\max} = 3$  dB və  $1,523 \leq \Omega < \infty$  oblastda  $\alpha_{\min} = 40$  dB.

Məsələ 3.2. Gücləndirmə əmsalı  $K = 16$  və məsələ 3.1 - in şərtinə uyğun buraxma zolaqlı elleptik süzgecin ötürmə funksiyasını təyin etməli.

Həlli: Ötürmə funksiyasının təyininə [2, əlavə Q,V] mə'lumat cədvəllərindən istifadə etməklə, məsələ 1.3.2 - də olduğu kimi aparaq. Bizim halda  $\alpha_1 = \alpha_{\max} = PRW = 3$  dB,  $\alpha_2 = \alpha_{\min} = MSL = 40$  dB,  $\omega \leq 0,523$  qiymətlərə malikdir. Cədvəl Q -dən  $n = 3$  qiymətinə  $\omega = 0,9802$  və  $n = 4$  qiymətinə  $\omega = 0,3466$  uyğun gəlir. Deməli,  $\omega \leq 0,523$  tələbini ödəmək üçün  $n = 4$  seçilməlidir. Prototip iki

# Filter - Elliptik

$\omega_{max} := 3 \text{ dB}$        $\text{fc1} := 16300 \text{ Hz}$        $\text{fc2} := 19400 \text{ Hz}$   
 $\omega_{min} := 40 \text{ dB}$        $\text{f1} := 15400 \text{ Hz}$        $\text{f2} := 20300 \text{ Hz}$   
 $\text{f1} := \text{fc1} \cdot \text{fc2} \cdot \text{f2}^{-1}$        $\text{f0} := \sqrt{\text{fc2} \cdot \text{fc1}}$        $\text{f1} = 1.558 \cdot 10^4$   
 $\Omega := \frac{\text{f0}}{\text{fc2} - \text{fc1}} \left[ \frac{\text{f2}}{\text{f0}} - \frac{\text{f0}}{\text{f2}} \right]$        $Q := \frac{\text{f0}}{\text{fc2} - \text{fc1}}$        $\text{f0} = 1.778 \cdot 10^4$   
 $Q = 5.736$        $\Omega = 1.523$        $k := 1 \dots 2$   
 $A_1 := 2.018831$        $B_1 := 0.454859$        $C_1 := 0.27342$        $K_1 := 2$        $K_2 := 2$   
 $A_2 := 0.992794$        $B_2 := 0.118962$        $C_2 := 0.937876$        $K_3 := 2$        $K_4 := 2$

$$E_k := \frac{1}{B_k} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ C_k + 4 \cdot Q^2 + \sqrt{\left[ C_k + 4 \cdot Q^2 \right]^2 - \left[ 2 \cdot B_k \cdot Q \right]^2} \right]}$$

$$D_k := \frac{1}{2} \left[ \frac{E_k}{B_k} + \sqrt{\left[ \frac{E_k}{B_k} \right]^2 - 4} \right] \quad A1_k := 1 + \frac{A_k + \sqrt{A_k^2 + 4 \cdot A_k \cdot Q}}{2 \cdot Q}$$

D <sub>k</sub>
1.042
1.088

E <sub>k</sub>
25.244
96.781

A1 <sub>k</sub>
1.28
1.189

$$\alpha_{2 \cdot k - 1} := A1_k \quad \alpha_{2 \cdot k} := A1_k^{-1}$$

$$\beta_{2 \cdot k - 1} := \frac{D_k}{E_k} \quad \beta_{2 \cdot k} := \frac{1}{D_k \cdot E_k}$$

$$\rho_{2 \cdot k - 1} := \sqrt{\frac{C_k}{A_k} \cdot K_{2 \cdot k - 1}}$$

$$\rho_{2 \cdot k} := \sqrt{\frac{C_k}{A_k} \cdot K_{2 \cdot k}}$$

$$\tau_{2 \cdot k - 1} := \frac{2}{k} \quad \tau_{2 \cdot k} := \frac{-2}{k}$$

$$n := 4 \quad r := 0$$

$$s := 1 \dots (n - r)$$

$$j := 0 + i$$

$\rho$	$\alpha$	$\beta$	$\tau$
S	S	S	S
0.736	1.28	0.041	1.086
0.736	0.781	0.038	0.921
1.944	1.189	0.011	1.183
1.944	0.841	0.009	0.845

$$C1_s := \left[ \frac{10}{f0} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$C2_s := C1_s$$

$$R4_s := 1000 \quad \omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot f0$$

$$C3_s := \rho_s \cdot C2_s$$

$$R1_s := \left[ R4_s \cdot \rho_s \cdot \omega_0^2 \cdot C1_s \cdot C2_s \right]^{-1}$$

$$R2_s := \left[ R4_s \cdot \tau_s \cdot \omega_0^2 \cdot C1_s \cdot C2_s \right]^{-1}$$

$$R3_s := \left[ \beta_s \cdot \omega_0 \cdot C2_s \right]^{-1}$$

	K		$C1 \cdot 10^8$	$C2 \cdot 10^8$	$C3 \cdot 10^8$
	S	S	S	S	S
1-manga	1	2	0.056	0.056	0.041
2-manga	2	2	0.056	0.056	0.041
3-manga	3	2	0.056	0.056	0.109
4-manga	4	2	0.056	0.056	0.109

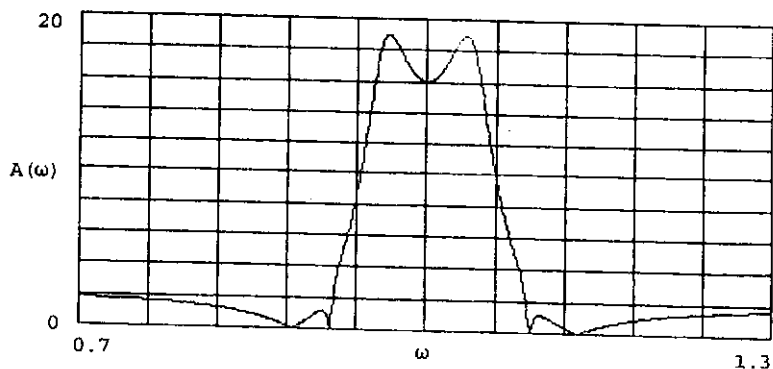
  

	$R1 \cdot 10^{-3}$	$R2 \cdot 10^{-3}$	$R3 \cdot 10^{-6}$	$R4 \cdot 10^{-3}$
	S	S	S	S
1-manga	344.148	233.343	0.386	1
2-manga	344.148	274.97	0.419	1
3-manga	130.307	214.064	1.416	1
4-manga	130.307	299.735	1.676	1

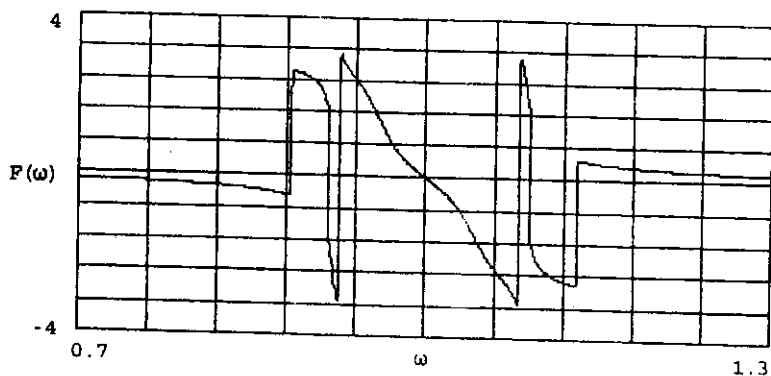


$$G(\omega) := \left[ \frac{\rho_0 \cdot j \cdot \omega}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_0 \cdot j \cdot \omega + \tau_0} \right]^r \cdot \prod_s \frac{\rho_s \cdot \left[ (j \cdot \omega)^2 + \alpha_s \right]}{(j \cdot \omega)^2 + \beta_s \cdot j \cdot \omega + \tau_s}$$

$$\omega := 0.7, 0.701 \dots 1.3 \quad A(\omega) := |G(\omega)| \quad F(\omega) := \arg(G(\omega))$$



Amplitud - tezlik karakteristika



Faz - tezlik karakteristika

aded ikinci tertib manqalardan ibarətdir. Cədvəl V- dən  $n = 4$ ,  $FRW = 3$  dB,  $MSL = 40$  dB və  $tw = 0.3466$  qiymətlərə uyğun  $A_i$ ,  $B_i$  və  $C_i$  əmsallarını seçirik. Seçilmiş qiymətlər "Filter elliptic" programının mətnində istifadə olunur. §1.4 -də göstərildiyi kimi II tertib prototipe IV tertib buraxma zolaqlı süzgec manqası uyğundur və belə manqa iki ədəd ikinci tertib cüt manqalar kimi götürülə bilər. Deməli, məsələnin şərtinə uyğun buraxma zolaqlı süzgecin tertibi  $n = 2 \cdot 4 = 8$  - dir və belə süzgec ötürmə funksiyası cədvəl 1.4.2 -də (8) ifadəsilə təyin olunan dörd manqadan ibarətdir.  $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$  kimi seçmək olar. Verilənlər əsasında,  $E_k$ ,  $D_k$  və  $A1_k$  - köməkçi parametrlərin ifadələri və qiymətləri, cədvəl 1.4.2 - də (8) ifadəsinə uyğun  $\rho_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  və  $\gamma_i$  - əmsallarının (11 a,b)- ilə hesablanmış qiymətləri, süzgecin ötürmə funksiyasının ifadəsi və bu ifadə əsasında ATX və FTX-nin təsvirləri "Filter elliptic" programının mətnində verilmişdir.

Məsələ 3.3. Məsələ 3.1 və məsələ 3.2 -nin şərtlərinə uyğun parametrlərə və ötürmə funksiyasına malik süzgec sxemini seçməli və sxemin elementlərini qiymətləndirməli.

Süzgecin ötürmə funksiyasının ifadəsindən görüldüyü kimi o, dörd ədəd II tertib elliptik süzgec manqasından ibarətdir və onu reallaşdırmaq üçün GIGM (§2.5), üç kondensatorlu (§2.6) və ya bikvadrat (§2.7) sxemlərindən istifadə etmək olar.

Üç kondensatorlu sxemdən istifadə halına baxaq (şəkil 2.6.1). Sxemin analizi və parametrlərinin hesablanması qaydası §2.6 -da verilmişdir. Sxeme uyğun elementlərin qiymətləndirilməsi (2.6.5) və (2.6.6) ifadələri ilə aparılır. Elementlər üçün alınan qiymətlər "Filter elliptic" programının mətnində verilmişdir.

Tertib olunan materiala və nümunə kimi göstərilən məsələlərin həllərinin analizinə əsaslanaraq aktiv süzgeclərin işlənilməsinin aşağıdakı ardıcılıqla aparılmasını təklif etmək olar: 1) Tələb olunan tezlik diapazonları, bu diapazonlara uyğun signal səviyyələri və ATX - nin dəyişmə xarakteri araşdırılır; 2) Parametrlərin qiymətlərinə və süzgecin növünə uyğun prototipe qoyulan tələblər təyin olunur; 3) Prototipin tertibi və ötürmə funksiyasının parametrləri təyin olunur; 4) Prototipe uyğun işlənən süzgecin ötürmə funksiyası tertib

olunur, parametrləri hesablanır, ATX və FTX -nin təsvirləri qurulur; 5) Ölçmə funksiyasını reallaşdıran süzgeç manqalarının prinsipial - elektrik sxemləri seçilir; 6) Prinsipial - elektrik sxemlərinə uyğun elementlər qiymətləndirilir, onların standarta uyğun nominalları seçilir və süzgeç sxemi reallaşdırılır.

---

### Ədəbiyyat

1. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах . - Л.: Энергоатомиздат, 1988.- 304 с.
2. Джонсон Д., Джонсон Дж., Мур Г. Справочник по активным фильтрам .- М.:Энергоатомиздат, 1983 . - 128 с.
3. Справочник по расчету и проектированию АРУ - схем / Букашкин С.А., Власов В.П. Эмий Б.Ф. и др.: Под ред. А.А.Ланне. - М.: Радио и связь, 1984 . - 368 с.
4. Волгин Л.И. Аналоговые операционные преобразователи для измерительных приборов и систем. -М.:Энергоатомиздат, 1983. -208с.

	səh.
Giriş .....	3
1. Aktiv süzgeçlərin klassifikasiyası və ötürmə funksiyalarının təhlili .....	5
1.1. Aktiv RC -sxemlərin işlənilməsinə qoyulan ümumi tələblər .....	8
1.2. Aşağı tezlikli polinomial süzgeç və mənzələrinin ötürmə funksiyalarının təhlili .....	11
1.3. Aşağı tezlikli invers Çebışev və elliptik süzgeç və mənzələrinin ötürmə funksiyalarının təhlili ...	19
1.4. Yuxarı tezlikli, buraxma zolaqlı və rejektor süzgeç və mənzələrinin ötürmə funksiyalarının təhlili ...	30
2. Aktiv süzgeç və mənzələrinin prinsipial elektrik sxemləri .....	63
2.1. Birinci tərtib süzgeç mənzələri üçün prinsipial elektrik sxemləri .....	63
2.2. Polinomial süzgeç və mənzələri üçün çoxilgəklə əks rətibəli sxemlər .....	66
2.3. Polinomial süzgeç və mənzələri üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxemlər .....	71
2.4. Polinomial süzgeç və mənzələri üçün bikiqadrat sxemlər .....	77
2.5. Invers Çebışev və elliptik süzgeç və mənzələri üçün gərginliklə idarə olunan gərginlik mənbəli sxem .....	81
2.6. Elliptik süzgeç və mənzələri üçün üç kondensatorlu sxem .....	85
2.7. Elliptik süzgeç və mənzələri üçün bikiqadrat sxem .	89
3. Məsələ həlli nümunələri və göstərişlər .....	93
Ədəbiyyat .....	98

Yığılmağa verilmişdir: 08.04.2002. Çapa imzalanmış 24.04.2002  
Kağız formatı 60/90 1/16. Şerti çap vərəqi 8,5.  
Tirajı 1000. Sifariş № 10.

---

Sumqayıt Dövlət Universitetinin mətbəəsində çap olunmuşdur.

Ünvan: Sumqayıt ş., 43-cü məhəllə