

КҮШЕЙТКІШТЕР

5.1. Күшейткіштердің жалпы сипаттамасы

Сан түрлі есептердің күшейткіш құрылғылардың көмегімен есептелетіндіктен, күшейткіштердің алуан түрлерін жасауға алып келді. Сондықтан, ең алдымен күшейткіштердің классификациясы, негізгі сипаттамасы, анықтамасымен танысқан жөн.

Кез-келген күшейткіштер 2 шартты қанағаттандыруы қажет:

- 1) Сигналдың күшейтілуін қамтамасыздандыру;
- 2) Күшейтілетін сигналға минималды бұрмалануды енгізу.

Күшейткіштердің классификациясы екі белгісі бойынша берілуі мүмкін.

Күшейтілген сигнал сипаттамасы бойынша жиілігін анықтайды. Соған сәйкес а) тұрақты ток пен кернеу күшейткіштері; б) төменгі жиілік күшейткіштері; в) жоғары жиілік диапазонында тар жолақты күшейтетін резонансты күшейткіштер; г) 10 герцтан бірнеше Мегагерцқа дейінгі сигналды күшейту үшін арналған кең жолақты күшейткіштер; д) жоғарғы жиілік күшейткіштері болып бөлінеді.

Күшейткіштердің жіктелуінің екінші белгісі – бұл күшейтілуі тиіс міндетті параметр. Соған сәйкес токтың, кернеудің, қуаттың күшейткіштері болуы мүмкін. Жалпы күшейткіштердің сипаттамасы – күшейту коэффициенті

$$K = \frac{U_{ш}}{U_{к}}$$

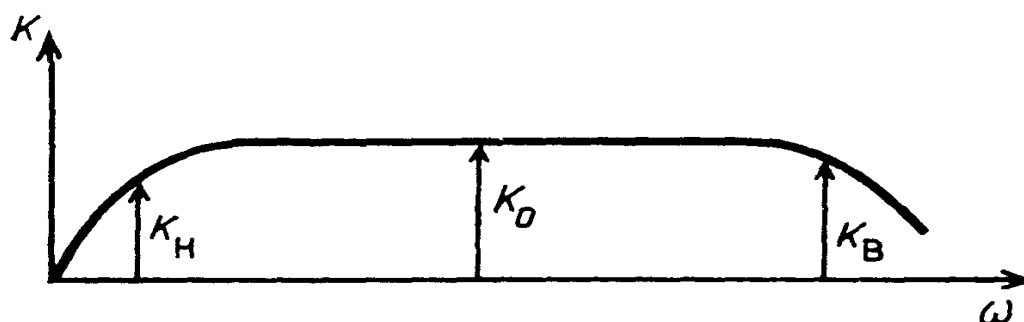
Мұндай анықтама гармоникалық сигнал үшін қолданылады. Әдетте күшейту коэффициенті мен жиілік арасындағы тәуелділікті тұрғызады. Егер бірнеше күшейткіш каскадтары мен әрбір каскадтың күшейту коэффициенті берілсе, мысалы

$$K_1 = \frac{U_2}{U_1}, K_2 = \frac{U_3}{U_2}, K_3 = \frac{U_4}{U_3}$$

Онда барлық күшейткіштердің күшейту коэффициентінің қатынасы бар $\frac{U_4}{U_1}$ бұдан шығатыны,

$$K_1 = \frac{U_4}{U_1} = \frac{U_2}{U_1} \frac{U_3}{U_2} \frac{U_4}{U_3}$$

Яғни $K=K_1K_2K_3$, барлық күшейткіштің күшейту коэффициенті жеке каскадтың күшейту коэффициентінің көбейтіндісін білдіреді. Сол себепті айнымалы кернеу фазасы U_1 , U_2 , U_3 жалпы жағдайда сәйкес келмегендіктен, күшейту коэффициенті комплексті өлшем болып табылады. Алайда күшейткішті есептеу кезінде күшейту коэффициентінің модулі қызықтырады. (5.1 сурет)



5.1 сурет. Күшейту коэффициентінің жиілікке тәуелділігі.

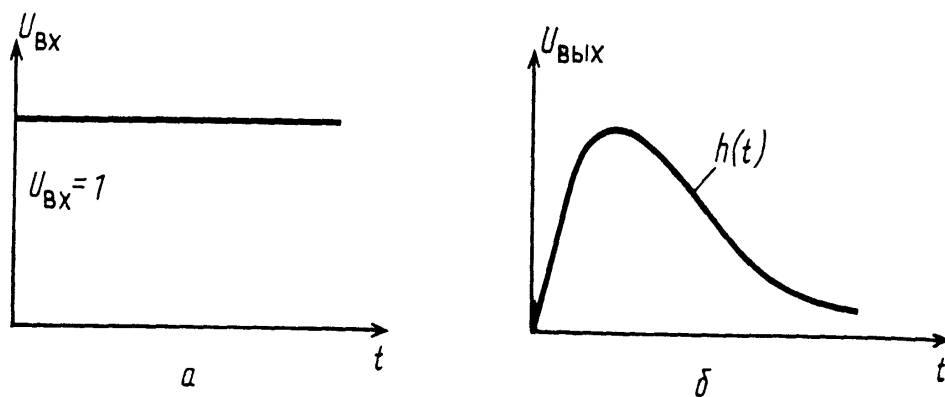
Көп жағдайларда күшейту коэффициентін логорифмдік бірлік- децибелл арқылы өрнектеу ыңғайлы. Децибелл арқылы өрнектелген күшейткіш 20 логорифмдік күшейту коэффициентінің модуліне тең және

$$K_{ab} = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_{ш}}{U_{к}}$$

Коэффициенттің децибелл арқылы өрнектелуінің ыңғайлығы мынада- ортақ күшейту коэффициенті табылғанда жәй ғана K шамасын қосындылаймыз.

Күшейткіш жұмысының сапасы күшейту процесі кезінде тербелістің бұрмаланбауына байланысты. Күшейткіштің жұмысы бұрмаланусыз болады, егер шығыс кернеуінің қисық формасы кіріс кернеуінің қисық формасына өте ұқсас болған жағдайда. Бұрмаланудың 3 түрі бар.

Амплитуда-жиілікте күшейтулері және тербелістері әртүрлі жиілікпен болады. Олар күшейту коэффициентінің әртүрлі жиілік диапазонында тұрақты болмауынан пайда болады.



5.2. сурет. Өтпелі күшейткіш сипаттамасы: а) бірлік кіріс кернеу; б) жауап (отклик)

Амплитуда-жиіліктік бұрмалану болмау үшін барлық тербеліс жиіліктері үшін күшейту тұрақты болу қажет. Егер жиіліктік сипаттамасының графигі көлденен тіке болғанда мұндай идеалды күшейткіш үшін жиіліктік бұрмалану болмас еді.

Жиілікті бұрмалау өлшемі жиілікті бұрмалау коэффициенті немесе амплитуда-жиіліктік сипаттамасының теңсіздік коэффициенті болып табылады

$$M = \frac{K}{K_0}, \text{ немесе } M_{db} = 20 \lg M.$$

Жиіліктік бұрмалану адамның есту қабілетіне дыбыс тембрының өзгеруі әсерінен сезіледі.

Фазалық бұрмалануда күшейтілген тербелістің фаза ығысу шамасы тұрақсыз болады. Күшейтілу кезінде тербеліс реактивті элементі бар күшейткіш тізбегінен өтіп, фаза бойынша ығысып және бұл ығысу күшейтілген тербеліс жиіліктеріне тәуелді болып келеді. Фазалық бұрмалану U_k мен $U_{ш}$ арасындағы фаза ығысу бұрышы өзгеріссіз қалған кезде және φ жиілікке тура пропорционалды өскенде $\varphi = \omega \alpha$ болмайды. Негізінде, күшейткіштің кірісіне сигнал келіп түссін

$$U_k = a_1 \sin \omega t + a_2 \sin 2\omega t + a_3 \sin 3\omega t \dots$$

Егер фаза ығысу бұрышы жиілікке пропорционалды болса, онда негізгі тербеліс ығысады φ -ға, екінші гармоника- 2φ -ға, үшіншісі- 3φ -ға және т.с.с. Шығыс кернеу мынандай болады

$$U_{ш} = K a_1 \sin(\omega t + \varphi) + K a_2 \sin 2(\omega t + \varphi) + K a_3 \sin 3(\omega t + \varphi) + \dots$$

Мұндай сигнал формасы бойынша кіріс сигналдан айырмашылығы жоқ, тек қана амплитудасы ұлғайып және барлық құраушысы уақыт бойынша φ -ға ығысады, бірақ өзара орналасуы мен қисық формасы өзгермейді. Төменгі жиілік күшейткіштері дыбыс жиіліктерін күшейтуге арналған, мұнда фазалық бұрмалануды ескермеуге болады, себебі есту қабілеті фазалық бұрмалануды қабылдамайды. Күшейткішті суретті жіберу кезінде қолданғанда, мұнда фазалық бұрмаланудың әсері қатты байқалады. Олардың әсерінен суретте дақ немесе көлеңке пайда болады. Фазалық бұрмалануды азайту үшін $\alpha = \frac{\varphi}{\omega}$ коэффициент диапозон бойынша аз өзгеру қажет.

Бейсызық бұрмалану бейсызық тізбек арқылы өтетін осы тербелістермен туындайды. Бейсызық бұрмаланудың күшейткіштегі негізгі қорек көзі-лампа немес транзистор.

Мұнымен детектордың сапасына баға берген кезде кездескенбіз, егер сипаттамасын $i = I_0 + aU + bU^2$ және сигнал $U = U_0 \sin \omega t$ түрінде болса, онда шығысындағы ток

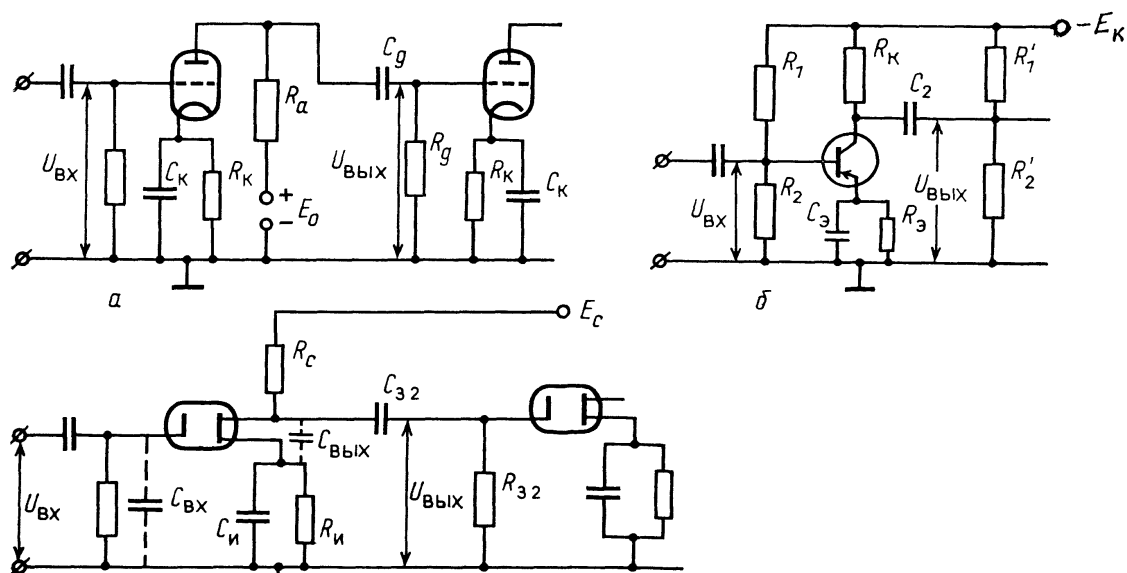
$$i = I_0 + aU_0 \sin \omega t + \frac{bU_0^2}{2} - \frac{bU_0^2}{2} \cos 2\omega t,$$

$$v = \frac{a_2}{a_1} = \frac{b}{2a} U_0,$$

яғни күшейткішпен енгізілген бұрмалану үлкен болса соғұрлым жинақтағы кернеудің амплитудасы үлкен болады.

5.2. Кернеу күшейткіштері

Кернеу күшейткіштерінде реостатты-сыйымдылық каскадтары қолданылады, яғни жүктеме кедергісі ретінде омдық кедергіні қолданатын тізбектер, және каскадтар арасындағы байланыс конденсатор арқылы жүзеге асады. Мұндай жүктеме таңдауы мынаған негізделген күшейту коэффициенті K күшейту жолағы шегіндегі сигнал жиілігіне аз тәуелді болу үшін. Сондықтан ең оңайы жүктеме ретінде резисторды қолданған жөн, себебі күшейтілген жиілік диапазонында кедергі өзгерміді. Соның арқасында жиілікпен күшейткіш аз өзгереді. Айта кететін жайт, кернеу күшейткіші әрқашан алдын-алатын және соңғы шығу каскады болмайтын күшейткіш. Одан кернеу келесі кернеу күшейткішке немесе шығыс күшейту қуатына беріледі. (5.3. сурет)



5.3. сурет. Кернеу күшейткіші:

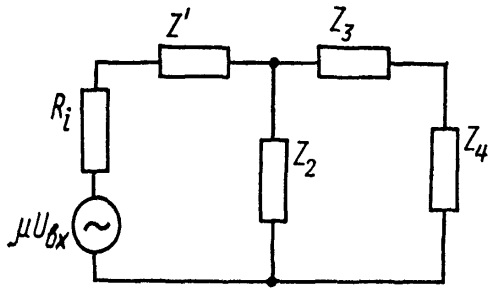
а) триодтағы; б) транзистордағы; в) өрістік транзистордағы.

Өйткені активті элементте (лампа, транзистор) күшейтілген айнымалы кернеуден басқа қорек көзінің тұрақты кернеуі болады, онда күшейткішті келесі каскадпен қосып тұрған тізбекке конденсатор C_p қосылуы тиіс, себебі тербелісті тұрақты кернеуден оқшаулап келесі каскадтың кірісіне өткізу үшін. Бұл қажетті, себебі үлкен тұрақты кернеу активті элементтің тұрақты тоқтағы жұмыс режимін бұзуымен қатар оны тоқтатуы мүмкін. Сондықтан лампалық күшейткіштерде анод пен бірінші лампа арасына және тор мен екінші лампа арасына бөлгіш конденсатор C_p қосылады. Осы мақсатпен бөлгіш конденсаторлар бірінші транзистордың коллекторы мен екінші транзистордың базасының арасына қосылған, ал өрістік транзисторларда бірінші сток пен екінші затвордың арасына қосылған.

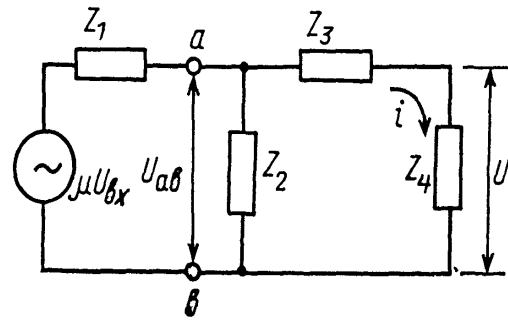
Күшейткіштердің жұмысын есептеген кезде монтаж сыйымдылығы, активті элементтің кіріс және шығыс сыйымдылықтары сияқты паразит сыйымдылықты ескеру қажет.

Кедергідегі күшейткіштің жиілік сипаттамасының есептеу

Күшейту коэффициентінің жиілікке тәуелділігін есептеу үшін активті элемент ЭҚК генератор түрінде ұсынылған, ал жүктеме кедергісі П-тәріздес байланыс жасайтын эквиваленттік схеманы пайдаланамыз. (5.4. сурет)



5.4.сурет



5.5.сурет

5.4.сурет. Күшейткіш кернеу генераторының эквиваленттік схемасы

5.5.сурет. Типтік кернеу күшейткішінің эквиваленттік схемасы

R_i мен Z' бір кедергіге біріктірсек 5.5.суреттегі типтік эквиваленттік схемаға келеміз.

Типтік схемадағы күшейту коэффициентіне $\frac{U_{ш}}{U_k}$ тең болатын ортақ өрнек табамыз. Бұл үшін алдымен $\frac{U_{ab}}{U_k}$ табамыз. Себебі $I_c = \frac{\mu U_k}{Z_1 + Z_{ab}}$, онда

$$U_{ab} = \frac{\mu U_k Z_{ab}}{Z_1 + Z_{ab}} \text{ және } \frac{U_{ab}}{U_k} = \frac{\mu}{1 + \frac{Z_1}{Z_{ab}}} \quad (5.1)$$

Бірақ

$$\frac{U_k}{U_{ab}} = \frac{Z_4}{Z_3 + Z_1}. \quad (5.2)$$

Сол жақ және оң жақ бөліктерін көбейтсек (5.1) және (5.2), аламыз

$$K = \frac{U_{ш}}{U_k} = \frac{\mu Z_4}{\left(1 + \frac{Z_1}{Z_{ab}}\right)(Z_3 + Z_4)}, \quad (5.3)$$

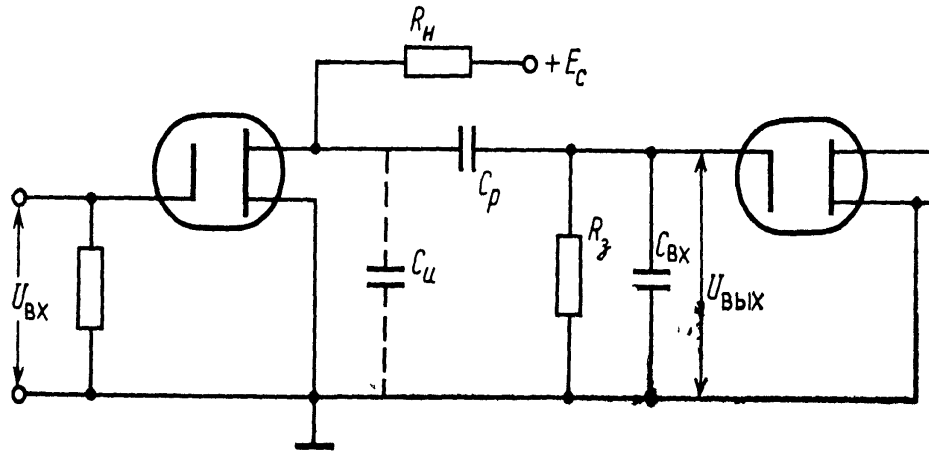
Содан

$$\frac{1}{Z_{ab}} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3 + Z_4},$$

Соныңда

$$K = \frac{\mu}{1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_4} + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \frac{Z_3}{Z_4}}. \quad (5.4)$$

Осы формуланы пайдаланып, өрістік транзистордағы күшейту коэффициентінің өрнегін табамыз (5.6.сурет).



5.6. сурет. МДП транзисторындағы күшейткіш схемасы

Бірінші транзисторды ЭДС генераторымен алмастырамыз, μU_k және R_i кедергісіне тең қылып. Екінші транзисторды кіріс сыйымдылығымен C_k және кіріс кедергісімен R_3 алмастырамыз. Сонымен қатар $C_p \gg C_c$ және $C_p \gg C_k$, $R_3 \gg R_{ж}$. Онда эквиваленттік схема 5.7. суреттегідей болады, $C_0 = C_{и} + C_k$. Бұл эквивалентті схеманы типтік схемамен салыстыратын болсақ, аламыз

$$Z_1 = R_i, Z_2 = R_{ж}, Z_3 = \frac{1}{i\omega C_p}, \frac{1}{Z_4} = \frac{1}{R_3} + i\omega C_0.$$

Бұл мәндерді (5.4) формуласына қойсақ, күшейту коэффициенті үшін табамыз

$$K = \frac{\mu}{\left(1 + \frac{R_i}{R_{ж}}\right) \left(1 + \frac{C_0}{C_p}\right) + \frac{R_i}{R_3} + i \left[\omega C_0 R_i - \left(1 + \frac{R_i}{R_{ж}}\right) \frac{1}{\omega C_p R_3} \right]} \quad (5.5)$$

C_0 сыйымдылығы басқаларна қарағанда аз (20-100 пФ), ал C_p сыйымдылығы болуы үлкен керек тербелістің әлсіремеуі үшін, $C_p = 10^4$ пФ, онда $\frac{C_0}{C_p} \ll 1$

$$K = \frac{\mu}{\sqrt{\left(\frac{R_i}{R_{ж}} + \frac{R_i}{R_3}\right)^2 + \left(\omega_0 R_i C_0 - \frac{1 + \frac{R_i}{R_{ж}}}{R_3 \omega C_p}\right)^2}} \quad (5.6)$$

Бұдан көрініп тұр күшейту коэффициентінің жиілікке тәуелділігі және кейбір

жиіліктерде $\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{1 + \frac{R_i}{R_{ж}}}{C_0 C_p R_i R_3}}$ K_0 максимал мәнге жетеді. Бұл жиіліктегі

жорамал бөлігі K үшін нөлге айналады және күшейту коэффициенті

$$K_0 = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_{ж}} + \frac{R_i}{R_3}} \quad (5.7)$$

$\omega = 0, K = 0$ болғанда схема тұрақты кернеуді күшейтпейді және кіріс сигналының жиілігі төмендегенде күшейту коэффициенті құлайды. Бұл яғни жиілік төмендеген кезде бөлгіш конденсатордың C_p кедергісі артады және кернеу оған түскен кезде ұлғаяды, ал шығысындағы кернеу азаяды. Бұл жиілік төмендегендегі күшейту коэффициентінің төмендеуіне алып келеді. Әдетте R_3 бірнеше есе R_i -дан үлкен болғандықтан, онда $\frac{R_i}{R_3}$ елемеуге болады. Сонымен қатар төменгі жиілік облысында $\omega_0 = C_0 R_i$ өлшемін елемеуге болады, себебі бірлік жиілікпен салыстырғанда аз ($C_0=20\text{нФ}, R_i=10\text{кОм}, f_H=1\text{кГц}$). Онда төменгі жиіліктер үшін күшейту коэффициентін мына түрде жазсақ болады:

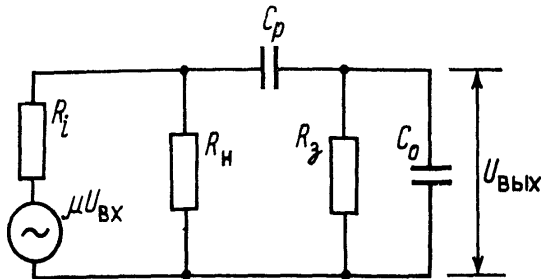
$$K_H = \frac{\mu}{\left(1 + \frac{R_i}{R_H}\right) \sqrt{1 + \frac{1}{\omega_H^2 C_p^2 R_3^2}}} \quad (5.8)$$

$$M_H = \frac{K_H}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_H C_p R_3)^2}}}$$

Жоғары жиілікте жұмыс істейтін күшейткішті қарастырайық. Жиіліктік сипаттамасының кемуін кіріс сыйымдылығы шунттау арқылы түсіндіреді. Бұл келесі түрде орындалады. Жиілік жоғарлаған сайын кіріс сыйымдылығының кедергісі $1/\omega C_0$ азая береді және паралель қосылған жалпы кедергі R_H, R_3 және C_0 да кеми түседі. Жүктеме кедергісі азая түскендіктен, транзистор арқылы өтетін ток I арта бастайды, және ішкі кедергісіне R_i түсетін кернеу де ұлғаяды. Конденсаторға C_p түсетін кернеуді ескермитін болсақ, онда шығысындағы кернеу $U_{ш}$ мынаған тең:

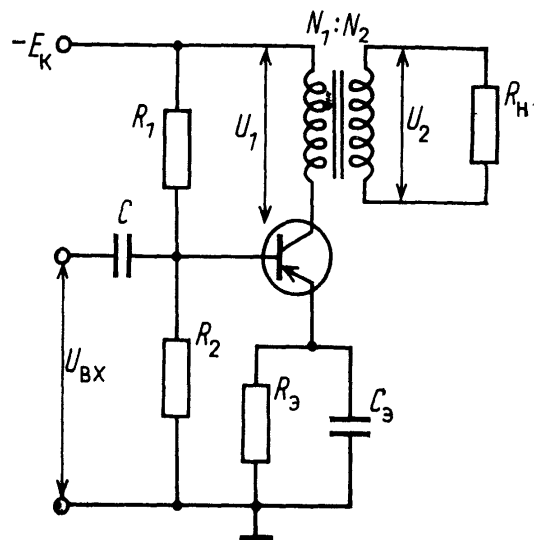
$$U_{ш} = \mu U_K - I R_i.$$

Бұдан түсінетініміз, $I R_i$ кернеу түсуін жиілік арқылы арттыратын болсақ, онда кірісіндегі кернеу U_K сәйкесінше күшейту коэффициенті K кеми түседі.



5.7.сурет

5.7.сурет.МДП транзисторындағы күшейткіштің эквиваленттік схемасы.



5.8.сурет

5.8.сурет. Трансформаторлы қосылған жүктеме негізіндегі қуат күшейткіш транзисторының схемасы.

Жоғары жиілік облысында бөлгіш сыйымдылығының C_p кедергісін ескермеуге болады, олай болса күшейту коэффициенті

$$K_B = \frac{\mu}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_i}{R_H} + \frac{R_i}{R_3}\right)^2 + (\omega C_o R_i)^2}} \quad (5.9)$$

Өте жоғары жиілік диапазонында ω_b күшейту коэффициенті аз, ал жиіліктік бұрмалануы жоғары болады. Жиіліктік бұрмалану коэффициентін M_B жоғары жиілік облысына белгілейміз:

$$M_B = \frac{K_B}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega C_o}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_H}}\right)^2}} \quad (5.10)$$

Кедергідегі күшейткіш элементтерін білсек, оның негізгі көрсеткіштерін – күшейту коэффициентін, жиілік диапазоның және бірқалыпты емес жиілік сипаттамасын анықтай аламыз. Анықтама бойынша күшейтілетін жиілік диапазоны деп күшейту коэффициенті $\frac{K_0}{\sqrt{2}}$ өлшеміне тең немесе үлкен жиілік облысын айтады. Күшейту жиілігінің шекарасында мына шарттар орындалу тиіс:

$$\frac{K_H}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{және} \quad \frac{K_6}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

Бұдан төменгі және жоғары жиілік өткізу жолақтары анықталады:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_H C_P R_3)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \omega_H C_P R_3 = 1, \quad \omega_H = \frac{1}{C_P R_3}. \quad (5.11)$$

$R_3 \gg R_i$ және $R_i \gg R_H$ шарты кезінде жоғары жиілік үшін мына теңдеуді жаза аламыз

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_6 C_0 R_H)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \omega_6 C_0 R_H = 1, \quad \omega_6 = \frac{1}{C_0 R_H}. \quad (5.12)$$

Күшейткіштің техникалық есептелу кезінде кері есептеуді шешуге тура келеді, яғни оның сапалы көрсеткіштерін біле отырып, барлық элементтерінің нақты мәндерін табады. Күшейткіштің техникалық есептелуі үшін: 1) күшейткіштің ең төменгі және ең жоғары жиілікті жолақтары; 2) жиілікті бұрмалану коэффициенті M_H және M_B ; 3) активті элемент параметрлері берілуі қажет. (5.10) теңдеуден R_H , M_H теңдеуінен C_P анықтайды, R_3 кедергісі беріліп. Содан кейін транзистор жұмысының режимі анықталады. Өрістік транзистор күшейткішінің күшейту коэффициенті үшін алынған формулалар ішіндегі өлшемдері сәйкес ауыстырылған жағдайда лампалық күшейткіште және биполярлы транзистор күшейткішінде қолданылады. Лампалық күшейткіште жүктеме кедергісі R_H анодтық кедергіге R_a , және биполярлы транзистор күшейткіштерінде R_k кедергіге ауыстырылуы тиіс. Сәйкесінше транзистор күшейткішінде C_P рөлін C_2 , ал лампалық күшейткіште C_g атқарады.