

R.T.HÜMBƏTOV

ELEKTRONİKA

II hissə

(Elektron qurğuları)

Ali məktəblər və texnikumlar üçün
dərs vəsaiti

30247

Kitab Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının
90 illiyinə həsr olunur

Azərbaycan Respublikası Təhsil
Nazirliyi tərəfindən təsdiq edilmişdir
(889 sayılı, 25.09.2000-ci il tarixli əmr)

“Maarif nəşriyyatı”

Bakı - 2010



621.38(07)

H.95 Rəy verənlər:

M.B.Namazov AzTU-nun dosenti, texnika elmləri namizədi,
İ.M.İsmayilov ADNA-nın dosenti, texnika elmləri namizədi

Redaktor: dosent A.M.Əliyev

R.T.Hümbətov Elektronika II hissə (Elektron qurğuları).
Ali məktəblər və texnikumlar üçün dərs vəsaiti, 2-ci nəşr,
Bakı, «Maarif», 2010, 284 səhifəli, 150 şəkilli.

Dərs vəsaitində yarımkəçirici cihazlarda və inteqral mikrosxemlərdə yığılmış, analoq və impulsşəkilli siqnallar üzərində müxtəlif çevirmələr aparan elektron qurğularının: açarların, məntiq elementlərinin, gücləndiricilərin, generatorların, sayğacların, registrlərin, kod çeviricilərinin, siqnal formallaşdırıcılarının, düzləndiricilərin, hamarlayıcı süzgəclərin, stabilizatorların və s. təsnifatı verilir, onların prinsipial və ekvivalent sxemləri araşdırılır, iş prinsipləri şərh edilir, əsas parametrləri xarakterik xüsusiyyətləri və təyinatları haqqında məlumat verilir.

Vəsait ali texniki məktəblərin və texnikumların elektronika, avtomatlaşdırma, telekommunikasiya, radiotexnika, cihazqayırma və elektroenergetika yönümlü ixtisasları üzrə təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur. Vəsaitdən həm də idarəetmə və elektronika sahəsində çalışan mütəxəssislər də faydalana bilərlər.

H $\frac{2302030000-14}{M652-2002}$ Qrifli nəşr

© R.T.Hümbətov, 2010

ÖN SÖZ

Cəmiyyətdə elmi-texniki tərəqqinin, iqtisadiyyatın və mədəniyyətin inkişafı üçün elektronikanın həlledici rol oynadığı təkzibedilməzdir.

Elektronika elm və texnikanın aparıcı sahəsi olaraq özündə həm fiziki elektronikanı, həm də texniki elektronikanı cəm edir.

Fiziki elektronika vakuumda, mayelərdə, qazlarda və bərk cisimlərdə yüklənmiş hissəciklərin konsentrasiyanın dəyişməsi və hərəkəti ilə əlaqədar proseslərin öyrənilməsinə istiqamətləndirilmişdir. Dərs vəsaitinin birinci hissəsi bu proseslərin və müxtəlif tipli və təyinətli elektron cihazlarının işinin öyrənilməsinə həsr olunmuşdur.

Bu kitabda isə **texniki elektronikaya** aid olan, elektron cihazlarının üzərində qurulmuş müxtəlif təyinətli (elektrik siqnalları üzərində müxtəlif çevrilmələr aparan) elektron qurğularının işi araşdırılır. Bunlara həm diskret aktiv cihazlar (tranzistorlar, diodlar, tiristorlar, optronlar və s.), həm də inteqral mikrosxemlər üzərində yığılmış açar sxemləri, məntiq elementləri, dəyişən və sabit cərəyan gücləndiriciləri, harmonik və impuls şəkilli siqnallar generatorları, rəqəmli elektron və mikroelektron qurğuları, siqnal formalaşdırıcıları, analoq-rəqəm və rəqəm-analoq çeviriciləri, siqnalları müqayisə edən qurğular, elektrik enrjisini çevirən, tənzimləyən və stabilləşdirən elektron qurğuları aiddir.

Burada da materialın izahında tipiklik prinsipinə üstünlük verilmişdir, yəni müəyyən sinfə aid olan qurğuların hamısının yox, onların əsas nümayəndələrinin işi izah edilmişdir.

Müxtəlif təyinətli elektron qurğularının öyrənilməsi zamanı hər hansı qurğu üçün xarakterik olan aşağıdakı məlumatlara diqqət yetirilməsi vacibdir:

- 1) qurğunun strukturunu və funksiyalarını aşkarlayan tərif;
- 2) qurğunun struktur və prinsipial elektrik sxemi;
- 3) qurğunun sxeminə daxil olan elementlərin təyinatı;
- 4) qurğunun sxeminin qurulma prinsipi və siqnalın qurğu vasitəsilə çevrilmə qaydaları;

5) qurğunun işini izah edən əsas diaqramlar və xarakteristikalar;

6) qurğunun sxeminin xarakterik xüsusiyyətləri;

7) qurğunun müsbət və mənfi cəhətləri;

8) qurğunun tətbiq sahəsi və s.

Təbiidir ki, qurğunun struktur sxemi, elementlərin təyinatı, qurğunun qurulma prinsipi şərtsiz olaraq yadda saxlanılmalı, siqnalın çevrilməsi (diaqramlar və xarakteristikalar vasitəsilə), qurğunun sxeminin müsbət və mənfi cəhətləri və s. isə anlaşıb dərk olunmalıdır.

Kitabda cəmlənmiş materiallar tələbələrdə elektron texnikasının əsasını təşkil edən müxtəlif təyinatlı qurğuların işinə maraq oyatmaq, onlara elektrik sxemlərinin qurulması və sınaqdan keçirilməsi sahəsində təcrübə aşılamaq üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Elektron qurğularının işi haqqında daha ətraflı məlumatı kitabın sonunda sadalanan ədəbiyyatlarda və yaxud digər mənbələrdə tapmaq olar.

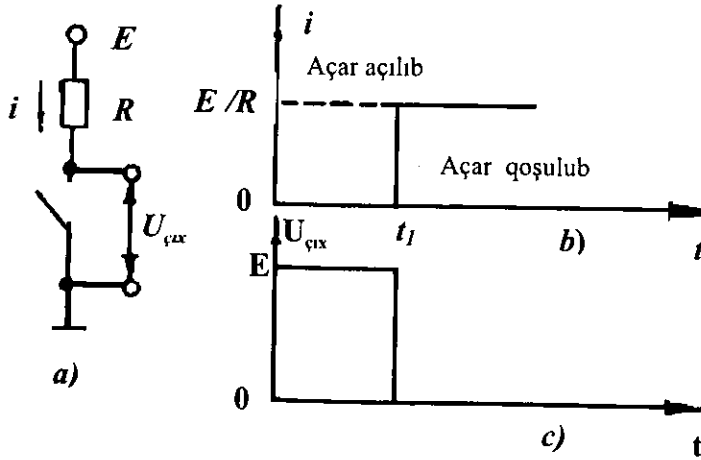
Müəllif O.M.Mirzəyevə hər iki kitabın əlyazmalarının 2-ci nəşrə hazırlanmasında göstərdiyi kömək üçün dərin minnətdarlığını bildirir.

1. ELEKTRON AÇAR SXEMLƏRİ

Elektron açar sxemləri impuls rejimində işləyən qurğuların əksəriyyətinin əsasını təşkil edir.

Elektron açarları qeyri-xətti qurğulardır, onların volt-ampere xarakteristikaları qeyri-xətti funksiyalar şəklində olur və bu sxemlərdə gedən proseslər müxtəlif növ qeyri-xətti tənliklərlə ifadə olunur. Elektron açarlarının qeyri-xətti elementləri qeyri-xətti açar rejimində işləyən, qeyri-xətti müqavimətləri dəyişən kəmiyyət olan yarımkəçirici diodlar, bipolyar və sahə təsirli tranzistorlar, tiristorlar və elektrovakuum lampalarıdır. Açar rejimi açarın iki vəziyyəti ilə "**açar qoşulmuşdur**" və "**açar açılmışdır**" xarakterizə edilir.

İdeal açarın qoşulmuş vəziyyətində ($t > t_1$) onun cərəyanı və gərginliyi $i = E/R$, $U_{\text{çix}} = 0$, açılmış vəziyyətində ($0 - t_1$) isə $i = 0$, $U_{\text{çix}} = E$ olur (şəkil 1.1.).



Şəkil 1.1. İdeal açarın sadələşdirilmiş sxemi (a), cərəyanın (b) və çıxış gərginliyinin (c) zaman diaqramları

Burada qoşulmuş açarın müqavimətinin sıfıra bərabər, açılmış açarın müqavimətinin isə sonsuz böyük olduğu nəzərdə tutulur. Real açar sxemlərində hər iki vəziyyətə uyğun cərəyan və gərginliklərin qiymətləri sxemdə istifadə edilən aktiv qeyri-xətti elementlərin növündən və parametrlərindən asılı olur. Açarın bir vəziyyətdən digərinə keçməsi ani olmur, keçid

müddəti aktiv elementin ətalətliyindən və sxemdə parazit tutum və induktivliklərin mövcudluğundan asılıdır. Elektron açarlarının keyfiyyəti əsasən qoşulmuş vəziyyətdə açardakı gərginlik düşküsi, açılmış vəziyyətdə açardan axan cərəyan və açarın bir vəziyyətdən digərinə keçid müddəti ilə müəyyən edilir. Bu parametrlərin qiymətləri nə qədər kiçik olarsa açarın keyfiyyəti bir o qədər yüksək olar.

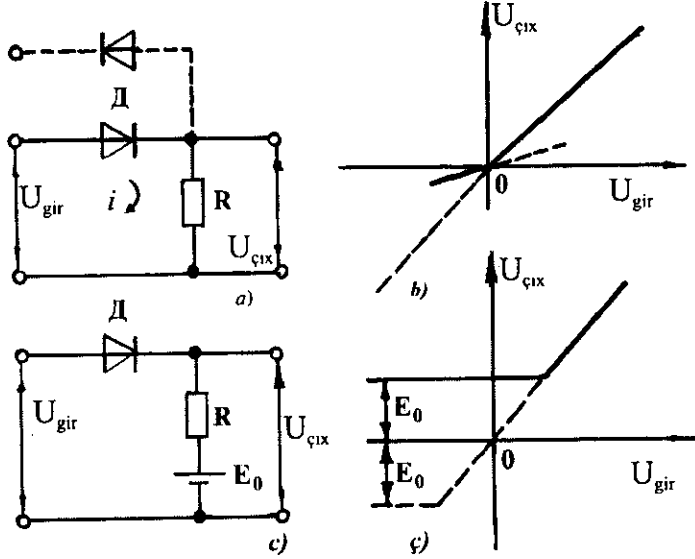
Elektron açarları idarəedici siqnalların təsiri nəticəsində müxtəlif elektrik dövrlərini açıb bağlayırlar.

İmpuls rejimində işləyən açarlardan başqa analoq siqnallarını açıb bağlayan açarlar da geniş istifadə olunur.

1.1. İmpuls siqnallarını ötürən açar sxemləri

1.1.1. Diod açarları

Belə açarların əsasını yarımkəçirici və elektrovakuum diodları təşkil edir. Diodun dövrəyə qoşulmasından asılı olaraq belə açarlar **ardıcıl** və **paralel** diod açarlarına bölünürlər. Diodun qoşulmasını

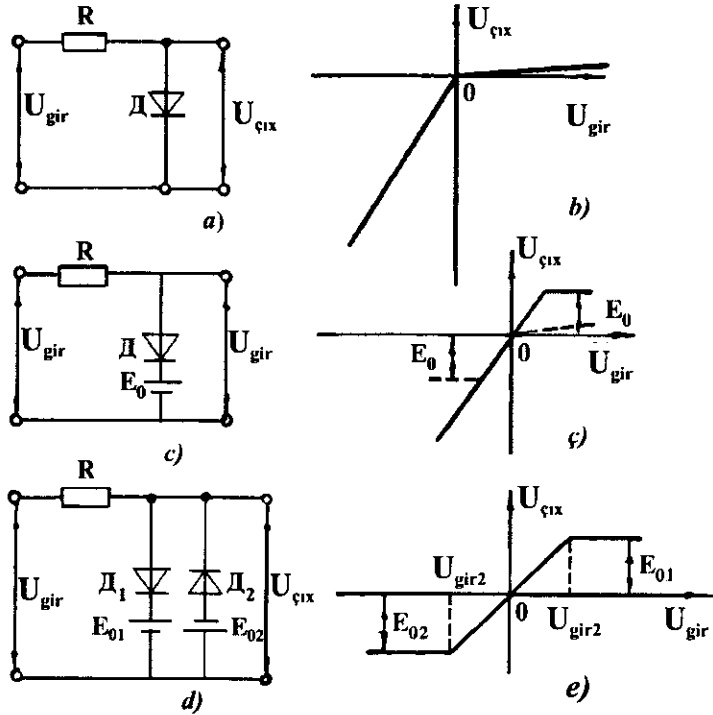


Şəkil 1.2. Ardıcıl diod açarlarının sxemləri və ötürmə xarakteristikaları: sıfır səviyyəli (a, b); qeyri-sıfır səviyyəli (c, d) gərginliklərə qoşulmaya uyğun

və ya açılmasını müəyyən edən giriş gərginliyindən asılı olaraq, açarları həm də sıfır səviyyəsi (gərginliyin) ilə qoşulan və qeyri-sıfır səviyyəsi (gərginliyin) ilə qoşulan sxemlərə bölürlər.

Sıfır səviyyəli giriş gərginliyi ilə qoşulan ardıcıl diod açarına (şəkil 1.2a,b) müsbət gərginlik verilərkən diod açılır və ondan $i = U_{gir} / (R_{düz}R + R)$ cərəyanı axır. Burada $R_{düz}$ -diodun düz müqavimətidir. Bu halda çıxış gərginliyi belə təyin edilir:

$$U_{çix} = iR = \frac{R U_{gir}}{R_{düz} + R}$$



Şəkil 1.3. Paralel diod açarlarının sxemləri və ötürmə xarakteristikaları: a,b)-sıfır səviyyəli, c, ç)-qeyri-sıfır səviyyəli qoşulmaya uyğun, d)-ikiqat diod açarının sxemi, e)-onun ötürmə xarakteristikası

Adətən $R_{düz} \ll R$ olduğundan $U_{çix} \approx U_{gir}$ olur.
Əks gərginliyin təsirindən dioddan əks cərəyan axır:

$$i = \frac{U_{gir}}{R_{aks} + R}$$

R_{aks} -diodun əks müqavimətidir. Bu halda çıxış gərginliyi

$$U_{cix} = iR = R \frac{U_{gir}}{R_{aks} + R} \text{ olur.}$$

$R_{aks} \gg R$ olduğundan $U_{cix} \approx R \frac{U_{znp}}{R_{aks}} \ll U_{gir}$ alınır. Diodun qoşulma

polyarlığı dəyişərkən ötürmə xarakteristikasının qrafiki (şəkil 1.2 b) koordinat başlanğıcı ətrafında 180° çevrilməlidir (qırıq-qırıq xətt).

Qeyri-sıfır səviyyəli gərginliklə qoşulan ardıcıl diod açarlarında qoşulma səviyyəsini dəyişmək üçün sxemə əlavə sürüşmə gərginlik mənbəyi E_0 qoşulur (şəkil 1.2c). Bu halda $U_{cix} > E_0$ qiymətində diod açılır (açar qoşulur) və $U_{cix} \approx U_{gir}$ olur. $U_{gir} < E_0$ halında isə diod bağlanır (açar açılır) və $U_{cix} = E_0$ olur (şəkil 1.2 ç). Sürüşmə gərginliyinin polyarlığı dəyişərsə ötürmə xarakteristikası qırıq xətlə göstərilən şəkildə olur.

Sıfır səviyyəli gərginliklə qoşulan paralel diod açarına (şəkil 1.3 a,b) müsbət giriş gərginliyi verildikdə diod açılır (açar qoşulur), $U_{cix} \approx 0$ olur, mənfi gərginlik verildikdə isə diod bağlanır (açar açılır) və $U_{cix} \approx U_{gir}$ olur.

Dioda ardıcıl sürüşmə gərginliyi mənbəyi E_0 qoşmaqla qoşulma səviyyəsini yuxarıdakı qaydada dəyişmək olur (şəkil 1.3c, ç). Bu halda E_0 -ın və diodun qoşulma polyarlığı dəyişdirilərsə ötürmə xarakteristikası qırıq xətlə təsvir edilmiş şəkildə olur.

İki diodu paralel qoşmaq yolu ilə **ikiqat diod açarı** əldə edilir (şəkil 1.3 d,e). Belə açar giriş gərginliyini çıxışa yalnız o vaxt ötürür ki, onlar I-ci və 2-ci açarın qoşulma gərginlikləri U_{gir1} və U_{gir2} səviyyəsində olsun.

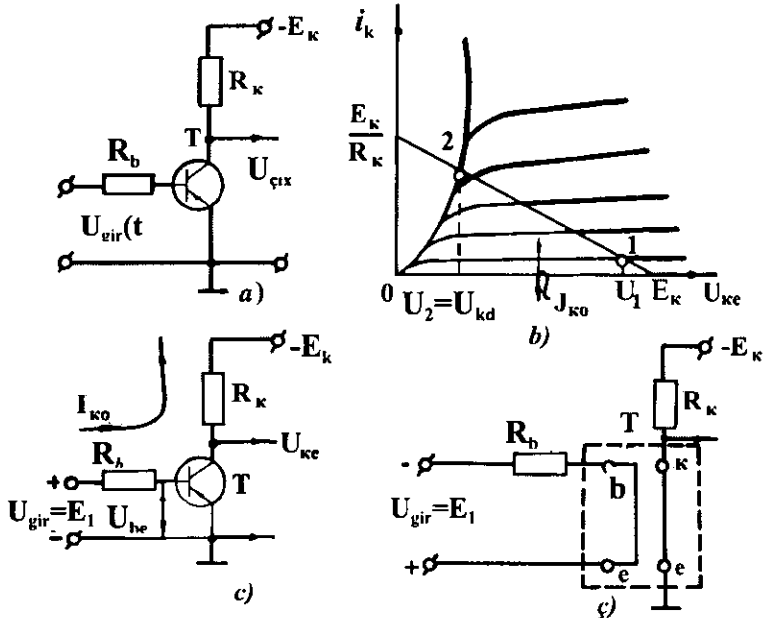
Diod açarlarının iş sürəti, qeyd edildiyi kimi bir vəziyyətdən digərinə keçmə müddəti ilə müəyyən edilir. Bu müddət *p-n* keçidlərin tutumu, montaj (yığma) tutumu və diodun bağlanma müddəti ilə müəyyən edilir. Diodun bağlanma müddəti yükdaşıyıcılarının rekombinasiya müddətindən asılıdır. Diod açarlarının iş sü-

rətini yüksəltmək üçün kiçik ətalətə malik diodlardan istifadə edilir. Adı diodların bağlanma müddəti 0,5 mikrosaniyədən çox, difuziya diodlarında isə 0,05 mikrosaniyə həddində olur. Diod açarlarının mənfi cəhətlərindən biri odur ki, onlar idarəedici və idarə olunan dövrləri elektriki cəhətdən biri-birindən ayıra bilmirlər.

1.1.2. Bipolyar tranzistorda açar sxemi

Belə sxemlərdə idarəedici (giriş) dövrə idarə olunan (çıxış) dövrdən elektriki cəhətdən ayrılmış olur.

Ən sadə tranzistorlu açar sxeminə (şəkil 1.4a) giriş gərginliyinin müsbət qiymətində tranzistor (*p-n-p* tipli) bağlı olur və onun çıxış dövrəsindən kiçik J_{ko} cərəyanı axır (şəkil 1.4b). Giriş signalı mənfi olarsa, tranzistorun baza dövrəsində əmələ gələn cərəyan onu doyma rejiminə keçirir. 1 nöqtəsi tranzistorun bağlı (açarın açıq), 2 nöqtəsi isə tranzistorun açıq (açarın qoşulmuş) vəziyyətinə uyğun gəlir.



Şəkil 1.4. Sadə tranzistorlu açarın sxemi (a), çıxış volt-ampere xarakteristikası (b), girişə müsbət gərginlik verilməsi (c) və mənfi gərginlik verilməsi halına uyğun ekvivalent sxemi (ç)

Yük xəttinin digər xarakteristikalarla kəsişmə nöqtələrinə uyğun kollektor cərəyanları bir vəziyyətdən digərinə keçid zamanı ani mövcud olurlar. Qrafikdən görüldüyü kimi açıq tranzistordakı gərginlik U_2 doyma rejiminə uyğun U_{kd} gərginliyinə, bağlı tranzistordakı gərginlik isə $U_f = E_k$ -ya bərabərdir. U_{kd} çox kiçik olduğundan bir vəziyyətdən digərinə keçmə zamanı yükdə gərginliyin dəyişməsinin amplitudu E_k -ya yaxın olur.

Tranzistor açarının açılma və bağlanma şərtləri yalnız sxemdəki elementlərin parametrlərinin müəyyən nisbətlərində təmin edilir. Açarın təhlilində ilk məsələlərdən biri onun statik vəziyyətlərinin təmin olunması şərtlərinin tapılmasıdır.

Qeyd edildiyi kimi giriş siqnalının müsbət yarımdalğasında bağlı tranzistordan (şəkil 1.4c) axan J_{ko} cərəyanı həm giriş, həm də çıxış dövrəsinin cərəyanı olur. Bu kiçik cərəyan müsbət qütb $-R_b$ - **bağlı tranzistorun kollektor keçidi** $R_k - E_k + E_f$ - **mənfi qütb** dövrəsində qapanır. Ümumi emitterli tranzistorun bağlanma şərti $U_{be} \geq 0$ -dır. Minimal mümkün olan J_{ko} cərəyanı əldə etmək üçün bazada müsbət gərginlik yaratmaq tələb olunur. Kirxofun ikinci qanununa uyğun baza dövrəsinin tənliyi belə ifadə olunur:

$$E_f = J_{ko} R_b + U_{be}$$

Burada E_f - giriş siqnalının müsbət yarımdalğasının amplitududur.

Buradan $U_{be} = E_f - J_{ko} R_b$ tapılır.

$U_{be} \geq 0$ şərti $E_f - J_{ko} R_b \geq 0$ və ya $R_b \leq E_f / J_{ko}$ şərtinə uyğundur.

Bu şərt açar kaskadının bütün işçi temperatur diapazonunda ($J_{ko_{max}}$ -a uyğun gələn maksimal temperatur da daxil olmaqla) ödənməlidir.

Deməli, tranzistorun açar rejimində etibarlı bağlanma

$$R_b \leq \frac{E_f}{J_{ko_{max}}}$$

şərti olmalıdır. Bu şərt ödənilərkən tranzistorun elektrodlarındakı gərginlik və cərəyan belə təyin olunur:

$$J_b = -J_{ko}; U_{be} = +E_f - J_{ko} R_b$$

$$J_k = J_{ko}; U_{ke} = -E_k + J_{ko} R_k$$

Yükdəki gərginlik $U_y = J_{ko} R_k$ və J_{ko} çox kiçik olduğundan (xüsusən silisium tranzistorlarında) bəzən onu nəzərə almırlar. $J_{ko} \rightarrow 0$ olduqda

$$U_{be} = +E_f; U_{ke} = -E_k; U_y = 0 \text{ və } J_y = 0 \text{ olur.}$$

Açarın girişinə signalın mənfi yarım dalğasının verilməsi halına uyğun sadələşdirilmiş ekvivalent sxem şəkil 1.4ç-də göstərilmişdir. Bu halda tranzistor doyma rejimində olur, giriş və çıxış dövrlərinin cərəyanları belə təyin edilir: $J_b = E_i / R_b$; $J_{kd} = E_i / R_k$.

Ümumi şəkildə doyma şərti $J_{kd} \leq \beta J_b$ kimi ifadə olunur. J_b

və J_{kd} -nin qiymətlərini nəzərə alsaq $\frac{E_k}{R_k} \leq \beta \frac{E_i}{R_b}$ alarıq. Buradan tranzistorun açar rejimində doyma şərti belə təyin edilir:

$$R_b \leq \beta \frac{E_i}{E_k} R_k$$

Xüsusi halda $E_i = E_k$ olarsa, $R_b \leq \beta R_k$ olar.

Doyma şərti β əmsalının bütün (hətta ən kiçik) qiymətlərində ödənməlidir:

$$R_b = \beta_{\min} \frac{E_i}{E_k} R_k$$

Əgər axırıncı şərt ödənersə tranzistor doyma rejimində işləyəcəkdir. Lakin bu doyma rejiminin sərhədinə uyğun olduğundan R_b -nin azacıq artırılması və R_k -nin azacıq azaldılması tranzistoru doyma rejimindən çıxara bilər. Ona görə də R_b -nin hədd qiymətlərindən istifadə olunmur və onu bir qədər kiçik götürməklə tranzistorun etibarlı doyma rejiminə zəmin yaradılır.

Tranzistorun doyma dərəcəsi doyma əmsalı ilə qiymətləndirilir. Bu əmsalın mənası belə izah oluna bilər. $J_{kd} \leq \beta J_b$ şərtindən görünür ki, verilmiş J_{kd} cərəyanında tranzistorun doyma rejiminə keçməsi üçün $J_{bd} = J_{kd} / \beta$ baza cərəyanı yaratmaq lazımdır. Bu cərəyan **doymanın baza cərəyanı** deyilir. Təbii ki, $J_b = J_{bd}$ olduqda tranzistor doyma rejimində olacaqdır. J_b / J_{bd} nisbətine **tranzistorun doyma dərəcəsi (S)** və ya **doyma əmsalı** deyilir. Doyma rejiminin sərhədində $J_b = J_{bd}$ və $S = 1$, doyma rejimində $S > 1$ olur. $S < 1$ halı mümkün deyildir, çünki $J_b / J_{bd} < 1$ tranzistorun doymadığını göstərir. S əmsalı nəzərə alınmaqla R_b belə təyin olunur: $R_b = \frac{\beta}{S} \frac{E_i}{E_k} R_k$. Adətən

$S=1,5 \div 3$ təmin edilir, onun daha böyük qiymətlərdə açarın iş sürəti azalır.

Doyma şərtinin yerinə yetirilməsini nəzərə almaqla açarın elementlərinin cərəyan və gərginlikləri belə təyin olunur:

$$U_{be} = U_{bd} \approx 0; J_b = (E_r - U_{bd})/R_b \approx E_r/R_b;$$

$$U_{ke} = U_{kd} \approx 0; J_k = J_{kd} = (E_k - U_{kd})/R_k \approx E_k/R_k;$$

$$J_y = J_{kd} \approx E_k/R_k; U_y = E_k - U_{kd} \approx E_k.$$

Yükdə gərginliyin dəyişməsinin amplitudu bağlı və açıq tranzistorun çıxış gərginliklərinin fərqinə bərabərdir:

$$U_m = E_k - J_{kd} R_k - U_{kd}$$

U_{kd} və $J_{kd} R_k$ çox kiçik olduğundan $U_m \approx E_k$ alınır. Uyğun olaraq yükə cərəyanın dəyişmə amplitudu $J_m = \frac{E_k - U_{kd}}{R_k} - J_{kd} \approx \frac{E_k}{R_k}$ olur.

Yuxarıda deyilənlər ən sadə tranzistorlu açar sxeminin statik (açıq və bağlı) hallarına aiddir. Belə açarın bir vəziyyətdən digərinə keçid prosesləri ani baş vermir, bu proseslər dinamik rejimi xarakterizə edir. Bu dərs vəsaitində keçid proseslərinə baxılmamışdır. Praktikada bipolyar tranzistorlar üzərində qurulmuş müxtəlif açar sxemləri istifadə olunur.

1.1.3. Sahə təsirli tranzistorda açar sxemi

p -tipi kanala malik sahə təsirli tranzistorda yığılmış sadə açar sxemi şəkil 1.5a-da göstərilmişdir. Açarın girişinə çox kiçik çıxış müqavimətinə malik gərginlik generatoru ($U_{gir}(t)$) qoşulmuşdur.

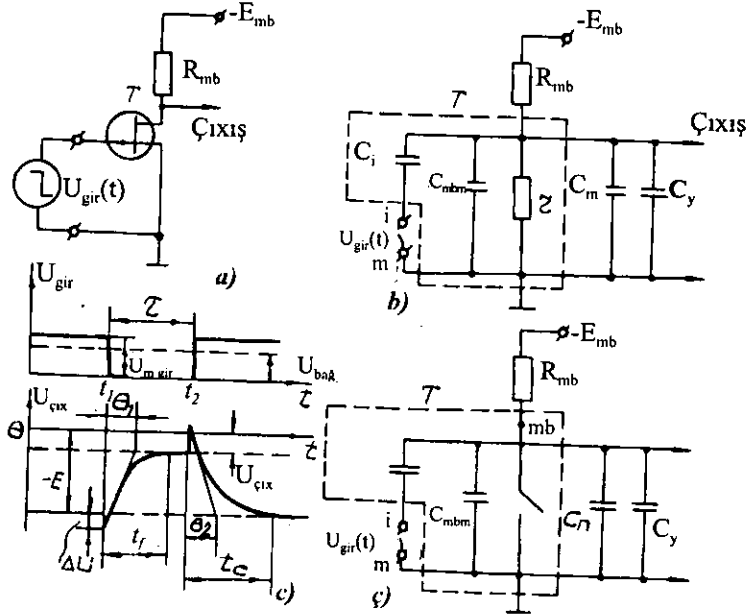
Giriş gərginliyi tranzistorun bağlanma gərginliyindən böyük olanda ($U_{gir} > U_{bağ}$) tranzistor bağlı, $U_{cix} = -E_{mb}$ olur ($0-t_1$) (şəkil 1.5b). $U_{gir} < U_{bağ}$ olanda ($U_{gir} = 0$) isə tranzistor açıq olur. Mənsəb dövrəsində yük müqaviməti $R_{mb} > E_{mb}/J_m$ olur və işçi nöqtə çıxış xarakteristikasının dik hissəsinə düşür. Bu halda sxemdəki qalıq gərginliyi minimal olur:

$$U_{cix0} = -E_{mb} \frac{r}{r + R_{mb}}; r = U_{bağ}/J_m$$

Tranzistorun və yükün parazit tutumları çıxışda alınan siqnalın ön və arxa cəbhəsinin davamiyyətini müəyyən edir.

İdeal düzbucaqlı impulsun sxemin girişinə təsirini araşdıraraq. Siqnal mənbəyinin çıxış müqavimətinin kiçik, onun gücünün çox böyük olduğunu qəbul etsək, idarəedici elektrod-mənbə tutumunun olmasına baxmayaraq idarəedicidəki gərginlik ani dəyişir. İdarəedici elektroddakı gərginliyin U_{mgir} sıçrayışı çıxış gərginliyinin də sıçrayışına səbəb olur. Çıxışdakı gərginlik U_{mgir} -in C_{imb} və mənsəb-mənbə arasındakı parazit tutum arasında bölünməsi nəticəsində əmələ gəlir (şəkil 1.5c). İdarəedici və mənbə dəyişən toplanana görə siqnal mənbəyi tərəfindən qısa qapanmış olur. Deməli, C_{im} də qısa qapanır. Ekvivalent dinamik sxemin qalan elementləri qırıq xətlə əhatə olunmuşdur. C_m - montaj (yığma), C_y - yük tutumudur. Mənbə ilə mənsəb arasında $C_f = C_y + C_m + C_{mbm}$ tutumu qoşulmuşdur. Çıxışda gərginliyin sıçrayışı $\Delta U_{çix} = U_{mgir} \frac{C_{imb}}{C_{imb} + C_f}$ olur.

$C_y + C_m \gg C_{imb}$ olduğundan $\Delta U_{çix} \ll U_{mgir}$ olur.



Bu sıçrayışdan sonra çıxış gərginliyi - $(E+\Delta U)$ qiymətindən U_{vxo} qiymətinə kimi dəyişməyə başlayır. Bu prosesin zaman sabiti

$$\theta_1 = C_o \frac{R_{mb}r}{R_{mb} + r}; C_o = C_l + C_{imb} \text{ alınır.}$$

Çıxış siqnalının ön cəbhəsinin davamiyyəti:

$$t_f \approx 2,2 \theta_1 = 2,2(C_{imb} + C_{mbm} + C_m) \frac{rR_{mb}}{r + R_{mb}}$$

Ön cəbhə formalaşandan sonra çıxışda gərginlik U_{vxo} qiymətini alır. t_2 anından başlayaraq giriş siqnalının müsbət pilləvari θ -dan U_{mgr} qiymətinə qədər artması tranzistoru bağlayır. Gərginliklərin parazit tutumlar arasında paylanmasından çıxış gərginliyi artım alır və bundan sonra C_o kondensatorunun $-E_{mb}$ mənbəyindən R_{mb} vasitəsilə dolma prosesi başlayır. Bu hal üçün ekvivalent sxem şəkil 1.5ç-də göstərilmişdir. Dolma dövrəsinin zaman sabiti $\theta_2 = C_o R_{mb}$, arxa cəbhənin davamiyyəti isə

$$t_c \approx 2,2 C_o R_c = 2,2(C_{imb} + C_{mbm} + C_y + C_m) R_{mb} \text{ olur.}$$

Göründüyü kimi $t_c > t_f$ olur.

MDY-tranzistorlarda yığılmış açar sxemləri də bu qayda-da işləyirlər.

Gərginlikdən istifadə əmsalının yüksəkliyinə, az güc işlətməsinə, parazit tutumların tez dolub boşalmasına görə müxtəlif keçiriciliyə malik kanalları olan sahə təsirli tranzistorlarda yığılmış açar sxemləri inteqral açıb-bağlayıcı sxemlərdə geniş istifadə olunurlar.

1.2. Analox siqnallarını ötürən açar sxemləri

Bu cür açar sxemləri qoşulmuş halda siqnalları minimal təhriflə ötürür, açılmış halda isə siqnal mənbələrini işlədici dövrlərdən ayırırlar. Onlar həm gərginliyi, həm də cərəyanı açıb bağlaya bilirlər. Gərginliyi açıb bağlamaq üçün birqütblü ardıcıl açar və ya iki vəziyyətli açar, cərəyanı açıb bağlamaq üçün isə iki vəziyyətli açar tələb olunur.

Hər iki halda yükün xarakterinə göstərilən tələblər müxtəlif olur. Gərginliyi qoşan sxemlərdə yükün müqaviməti siqnal mənbəyinin müqavimətindən çox, cərəyanı qoşan sxemlərdə isə az olmalıdır.

Real analoq açar sxemləri siqnalı mənbədən yükə müəyyən xəta ilə ötürürlər. Xətanın qiymətini müəyyən edən əsas parametrlər qoşulmuş açardakı qalıq gərginliyi və açılmış açarın müqavimətidir. Bu parametrlərdən başqa analoq açarları aşağıdakı bir çox parametrlərlə də xarakterizə olunurlar.

1. Qoşulmuş açarda idarə dövrəsindən siqnal dövrəsinə sızma cərəyanı (giriş və çıxış məftillərindəki cərəyanların fərqi). Cərəyan qoşan açarlar üçün bu parametr əhəmiyyətə malikdir, gərginlik qoşan sxemlərdə yalnız cərəyanın siqnal mənbəyinə və ya yükə axmasını bilmək vacibdir.

2. Açarın qoşa bildiyi cərəyan və ya gərginliklərin (giriş siqnallarının) diapazonu. Bu parametr idarəetmə sxemi, açarın deşilmə gərginliyi və giriş siqnallarının ötürülməsinin buraxıla bilən xətası ilə məhdudlaşır;

3. Açılmış açarın girişində və çıxışındakı sızma cərəyanları və əks müqavimətlər. Pasportda adətən bu cərəyanların normal və maksimal temperaturlardakı qiymətləri göstərilir;

4. Qoşulma və açılma müddətləri tam yük müqaviməti olanda təyin edilirlər. İdarəedici impuls tətbiq edilən andan yükə gərginliyin (cərəyanın) bir vəziyyətdən digər vəziyyətə qoşulmasının ön cəbhəsinin (0.9 və ya 0.1 səviyyələrinə görə) sonuna qədər keçən müddətlə müəyyən edilir;

5. Yükün verilmiş qiymətində qoşulmadan sonra çıxış siqnalının buraxıla bilən xəta ilə dayanıqlı vəziyyət alması müddəti;

6. Açarın parazit tutumları - açar açılıb qoşularkən idarəedici siqnalın sıçramasını və açılmış açardan analoq siqnalının başdan-başa keçməsinə müəyyən edirlər.

7. Çıxışdakı məntiqi səviyyələr açarın idarə dövrələrini və onların rəqəm inteqral sxemlərlə uyğun gəlməsini xarakterizə edirlər.

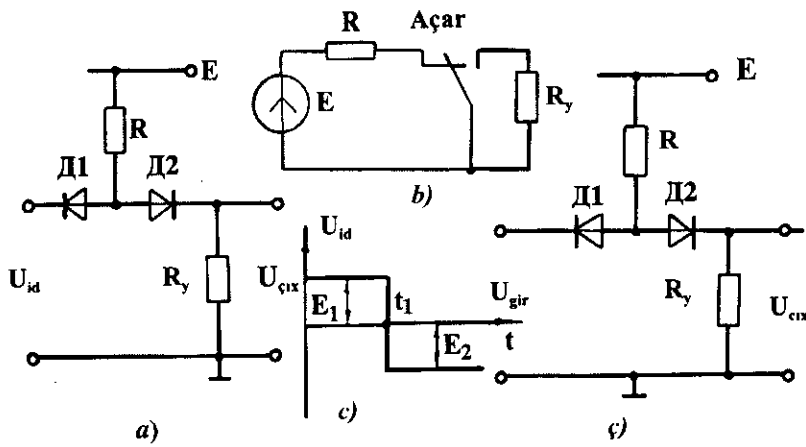
Bunlardan əlavə analoq açarlar hüdud iş rejimləri, mənbə gərginliyi, sərf edilən güc, işçi temperaturlar diapazonu, ölçüləri, gövdənin növü və həm də məxsusi küyləri, açarlar arasında çarpaz əlaqələrin olması, alçaq tezlikdə gərginliyi ötürmə əmsalı və s. parametrlərlə xarakterizə olunurlar.

Ən geniş yayılmış analoq açar sxemləri diodlarda, bipolar və sahə təsirli tranzistorlarda və optronlarda yığılır. Bir çox hallarda onların sxemi rəqəm açarlarına uyğun olur, lakin onların təyinatlarının fərqlənməsi müxtəlif iş rejimlərini və giriş siqnallarının daxil olma qaydalarını müəyyən edir.

1.2.1. Diodlarda yığılmış analog açar sxemləri

Belə sxemlər cərəyanların dəqiq və gərginliklərin iti qoşulması üçün istifadə olunurlar, çünki cərəyan açarlarının dəqiqliyi yüksək, idarəsi isə asandır, nazik bazalı və Şotki diodlarında yığılan gərginlik açarlarında isə yükdaşıyıcılarının yığılması baş vermir və ətalətlik əsasən sədd tutumlarının dolub boşalması ilə müəyyən edilir.

Diodlu cərəyan açarına (şəkil 1.6a) yüksək idarəedici gərginlik verildikdə (şəkil 1.6c $\theta-t_1$ intervalı) D_1 diodu bağlı olur və cərəyan ($J=E/R$) D_2 diodundan yükə axır. İdarəedici gərginliyin mənfəi səviyyəsində isə ($t > t_1$ olanda) D_2 diodu bağlı, D_1 diodu isə açıq olur və cərəyanı buraxır. Bu sxemə şəkil 1.6b-də göstərilən əvəz sxemi uyğun gəlir. E gərginliyinin sabit qiymətlərində R rezistorunun qiymətini seçməklə tələb olunan cərəyanı verərək idarəedici gərginliyin köməyiylə bu cərəyanı çıxışa ötürmək və ya çıxışdan açmaq mümkündür. Belə açarın yükdəki cərəyanının qeyri-stabilliyi D_2 diodundakı düz və əks cərəyanların ətraf mühitin temperaturundan asılı olması ilə əlaqədardır. Düz gərginlik mənfəi temperatur əmsalına malikdir ($2-4\text{mV}^\circ\text{C}$), əks cərəyan isə hər 10°C -dən iki dəfə eksponensial qanun üzrə artır.

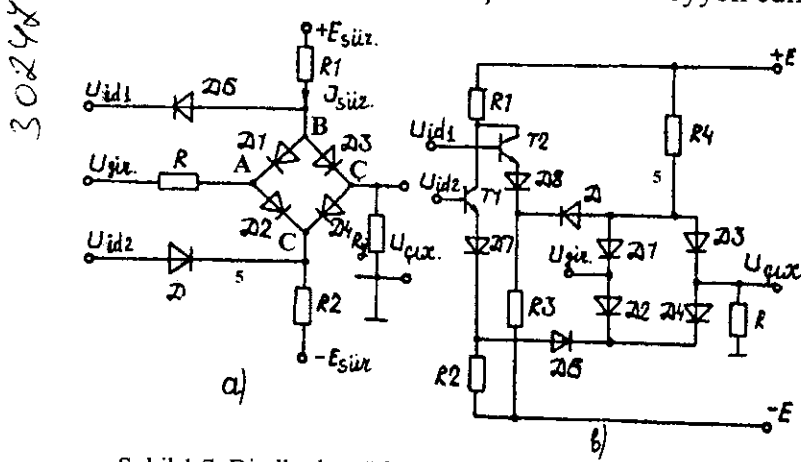


Şəkil 1.6. Diodlu analog cərəyan açarının qoşulma (a), əvəz (b) sxemləri, idarəedici gərginliyin diaqramı (c) və analog gərginlik açarı kimi qoşulması (ç)

Belə diodlu cərəyan açarları rəqəm-analoq çeviricilərində geniş istifadə olunur, məsələn, $2\Pi Д 651$ və $2\Pi Д 652$ mikro-sxemlərinin hər birinin tərkibində çəki rezistorları ilə birlikdə 6 diod açarı vardır.

Açar gərginliyi qoşma rejimində işləyəndə idarəedici gərginlik R rezistorundan verilir, giriş siqnalı isə D_1 diodunun katoduna tətbiq edilir (şəkil 1.6ç). İdarəedici gərginliyin alçaq səviyyəsində hər iki diod bağlı olur və açarın çıxışındakı potensial torpaq potensialına bərabər olur, yüksək səviyyəsində isə hər iki diod açılır və giriş gərginliyi çıxışa verilir ($U_{çix} \approx U_{gir}$). D_1 və D_2 -nin əvəzinə biri-birilə uzlaşdırılmış diod cütündən istifadə olunması diodların qeyri-ideallığından əmələ gələn bir neçə millivolt həddində xətanı azaltmağa imkan verir.

Diodlu analoq gərginlik açarlarından ən geniş yayılanları körpülü açar sxemləridir. Onlar dinamik diapazonu 40 desibeldən yuxarı olan enli zolaqlı bipolyar siqnalı təhrifsiz ötürə bilirlər. Onların açılıb qoşulma sürəti sxemin idarəedici tranzistor kaskadlarının və diodlarının iş sürəti ilə müəyyən edilir.



Şəkil 1.7. Diodlarda yığılmış körpülü gərginlik açarının (a) və inteqral sxem şəklində hazırlanmış körpülü gərginlik açarının (b) sxemləri

Körpülü gərginlik açarı sxemində (şəkil 1.7a) giriş gərginliyi D_1 və D_2 diodlarının birləşdiyi A nöqtəsinə verilir, çıxış gərginliyi isə R , müqavimətindən götürülür. Açarı idarə edən bipolyar gərginlik (şəkil 1.6ç) körpü sxeminin digər qoluna (B

və C nöqtələrinə) tətbiq edilir. Əgər idarəedici gərginliklər $U_{ud1} > 0$ və $U_{ud2} < 0$ olarsa D_5 və D_6 diodları əks istiqamətdə qoşulur (bağlı olur), körpü sxeminin diodları D_1 - D_4 isə düz istiqamətdə cərəyan keçirirlər. Sxemin tam simmetrik olduğunu qəbul etsək A və B nöqtələri eyni potensiala malik olacaq və girişə verilən gərginlik tamamilə çıxışa ötürüləcəkdir (açar qoşulacaqdır). İdarəedici gərginliyin polyarlığı dəyişəndə D_5 və D_6 diodları açılır, D_1 - D_4 diodları isə bağlanır və açar açılmış vəziyyətə keçir. Belə açarın ötürmə əmsalı $R_y / (R_{gir} + R_y + R_{düz})$ -ə bərabərdir. Açarı idarə etmək üçün $|E| > (U_{girmax} + U_{düz})$ nisbətini təmin etmək lazımdır ($U_{düz}$ -açıq dioddakı gərginlik düşküüdür). Gərginliyin ötürülməsində yaranan xəta körpü sxeminin diodlarının tam eyni olmamalarından, $E_{sür}$ və R_f -in sabitliyindən, yük cərəyanının dəyişmə diapazonundan və temperaturdan asılıdır. Diodların xarakteristikalarının bir-birindən fərqlənməsini azaltmaq üçün onları inteqral sxem şəklində hazırlayırlar. İnteqral sxem (**MC265KH1**) şəklində hazırlanmış diodlu körpü açarı şəkil 1.7.b-də göstərilmişdir. Girişdəki tranzistorlu idarə sxemi mikrosxemin tranzistor-tranzistor məntiqi (bu barədə sonrakı fəsilə məlumat verilir) sxemlərinə bilavasitə qoşulmasına imkan verir. Giriş signalının tezliyi **15 Mhz** və yük müqaviməti **300 Om** olan halda qapalı və açıq açarın çıxış gərginliklərinin nisbəti **100** olur, bu isə açarın girişi ilə çıxışının ayrılmasının **40** desibel olduğuna uyğun gəlir. Qapalı açarın ötürmə əmsalı **0.8**, idarəedici gərginliyin yuxarı səviyyəsi **2.5 V**, aşağı səviyyəsi isə **0.5 V** olur.

1.2.2. Bipolyar tranzistorlu analoq açar sxemləri

Bu cür sxemlər həm gərginlik, həm də cərəyan açarları kimi istifadə olunurlar. Gərginlik açarında tranzistorun invers qoşulmasında alınan doyma rejimi istifadə olunur. Özü də həm ardıcıl və paralel qoşulmuş ayrı-ayrı tranzistorlardan, həm də qarşı-qarşıya qoşulmuş ikiemitterli tranzistorların uzlaşdırılmış cütlərindən istifadə edirlər (bunlara **inteqral arakəsiciləri** deyilir). Cərəyan açarlarını çox vaxt uzlaşdırılmış tranzistorlarda qururlar.

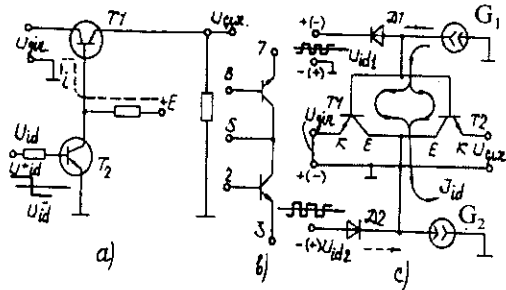
Ayrı-ayrı tranzistorlarda yığılmış açarlar sabit cərəyanla idarə olunurlar (şəkil 1.8 a). T_1 tranzistoru invers rejimdə, T_2 normal rejimdə işləyir. T_1 adi analoq açarı, T_2 isə onun idarə sxemi rolunu oynayır. T_2 -nin girişinə U_{id} gərginliyi verildə o açılır, onun kollektorunda və deməli, T_1 -in bazasında gərginlik sıfıra yaxın olur. İvers qoşulmuş T_1 -in emitter keçidi əks qoşulmuş (U_{gir} əndəki qalıq gərginliyindən böyükdür) və T_1 bağlı olur. $U_{id} = U_{id}$ olduqda T_2 bağlanır, T_1 isə baza cərəyanı ilə açılır və $U_{vax} \approx U_{gir}$ olur.

Invers rejimdə açıq tranzistorun qalıq gərginliyi **1-5 mV**, müqaviməti **10-20 Om** olduğundan belə analoq açarlarını kifayət qədər böyük gərginlik və cərəyanları ötürmək üçün işlətmək mümkündür. Bu sxemlərin açılıb qoşulma müddəti **0,1 mikrosaniyə** həddində olur.

Qapalı açarda qalıq gərginliyini azaltmaq üçün iki tranzistoru qarşı-qarşıya qoşurlar (şəkil 1.8b). Burada qalıq gərginliyi ayrı-ayrı tranzistorların qalıq gərginliklərinin fərqinə ($U_{qal} = U_{qal1} - U_{qal2}$) bərabər olduğundan onun qiyməti çox kiçik olur. Belə açarların istifadəsində əsas çətinlik idarəetmə dövrəsinin sxeminin mürəkkəb olmasıdır, çünki bu sxem siqnal mənbəyindən və yükədən izole olunmalıdır.

Belə **sxemə inteqral (101KT1) arakəsici** deyilir (şəkil 1.8b), onun qalıq gərginliyi **50 mkV** həddində olur. Eyni zamanda açarın müqaviməti (**100 Om**) və açılıb qoşulma müddəti də (**0,5 mikrosaniyə**) çoxalır.

İnteqral arakəsicdə qalıq gərginliyi o vaxt səmərəli kompensasiya edilə bilər ki, hər bir tranzistordan axan cərəyan bərabər olsun. Bu şərti ödəyən sxem şəkil 1.8c-də göstərilmişdir. Sxemdə idarəedici gərgin-



Şəkil 1.8. Ayrı-ayrı qoşulmuş tranzistorlarda (a) və qarşı-qarşıya qoşulmuş tranzistorlarda (b, c) analoq açar sxemləri

liyin mötərizəsiz göstərilən qiymətlərində (ümumi xəttə nisbətən) D_1 və D_2 diodları bağlanır və invers rejimdə işləyən T_1 və T_2 tranzistorlarında yığılmış açar G_1 və G_2 generatorlarının cərəyanı ilə doyma rejiminə keçirilir.

Aydındır ki, T_1 və T_2 -nin qalıq gərginlikləri biri-birinə əks olduqlarından tam kompensasiya edilirlər. İdarəedici gərginliklərin polyarlığı dəyişəndə (mötərizədə göstərilən) D_1 və D_2 açılır və generatorların cərəyanları bu diodlardan və idarəedici gərginlik mənbəyindən keçərək (qırıq xətlər) ümumi xəttə qapanır. İdarəedici gərginlik diodlarda düşən gərginliklərdən və giriş signalından böyük olduğundan T_1 və T_2 -nin bazaları mənfi potensiala, onların invers emitterləri isə ümumi nöqtəyə görə müsbət potensiala malik olacaq və deməli, hər iki tranzistor bağlı olacaqdır. Qapalı tranzistorların kollektor keçidlərinin əks cərəyanları (J_{ko}) əks istiqamətlərdə yükədən və signal mənbəyindən axaraq bir-birini kompensasiya edəcəkdir.

Tranzistorlu arakəsicilərin iş rejimlərini simmetrik etmək üçün transformatorlu idarə sxemlərindən istifadə olunur, lakin bundan inteqral sxemlərdə işlətmək məqsəduyğun hesab olunmur. Bipolyar tranzistorlu analoq açar sxemləri **273 və 240 seriyalı** mikrosxemlərdə istifadə olunur.

Gərginlik açarlarından fərqli olaraq cərəyan açarları doymamış rejimdə işləyirlər, ona görə də onların iş sürəti daha böyükdür (açılıb qoşulma müddəti bir neçə nanosaniyə olur). Lakin onların baza cərəyanı (idarəetmə cərəyanı) signal dövrəsinə axdığından belə açarların tətbiqi məhdudlaşır. Belə sxemlərdə giriş cərəyanı çıxış cərəyanından baza cərəyanının qiyməti qədər fərqlənir.

1.2.3. Sahə təsirli tranzistorlu analoq açar sxemləri

Belə açar sxemləri çox geniş yayılmışdır. Bunların müsbət xüsusiyyətləri açıq tranzistorda qalıq gərginliyinin olmaması, sızma və idarə cərəyanlarının kiçik olması və onların inteqral texnologiyaya daha uyğun gəlməsidir.

Bu açarlar üçün idarə olunan *p-n* keçidli və **MDY (MOY)**-tranzistorlar istifadə olunur. Elektronların yürüklüyü

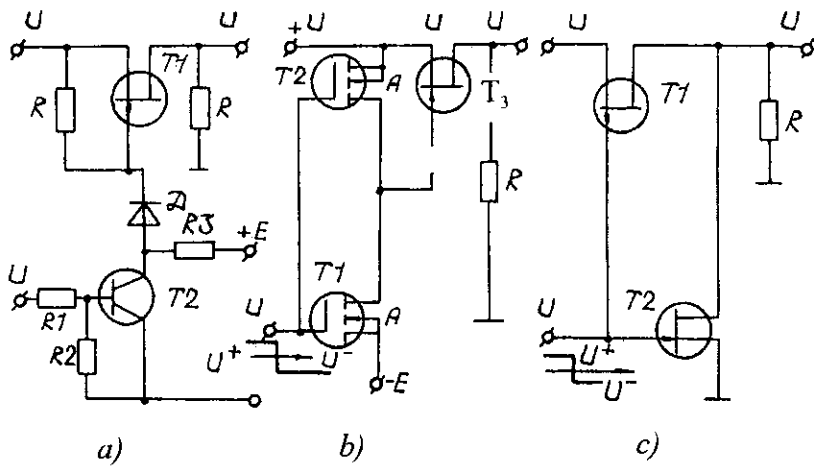
deşiklərinədən yüksək olduğundan və düz müqaviməti kiçik olduğundan n tipli kanala malik tranzistorlara üstünlük verilir. Tranzistorların düz müqaviməti **5-200 Om** və onun temperaturdan dəyişmə əmsalı 1°C -də **0,6 %** təşkil edir.

Sahə təsirli tranzistorlarda açar sxemlərinin buraxıla bilən statik xətası onların iş sürətinə çox təsir göstərir. Çünki giriş müqavimətinin çox böyük olmasına baxmayaraq giriş siqnalının bir hissəsi elektrodlararası tutumdan çıxışa keçir və tezlik artdıqca çıxış siqnalında onun toplananı da artır. Bu sxemlərdə keçid proseslərinin real davamiyyəti analogi impuls siqnalları açarlarında olduğu kimi mikrosaniyədən onlarla nanosaniyəyə kimi dəyişir.

Tutum cərəyanlarının sıçramasının və giriş siqnalının çıxışa keçməsinin qarşısını almaq üçün idarəedici impulsların ön cəbhəsinin dikliyini azaltmaq lazımdır, bu isə mütləq iş sürətinin azalmasına gətirib çıxarır. Giriş siqnalının çıxışa keçməsinin qarşısının alınmasının daha səmərəli üsulu belə keçmələrin kompensasiya edilməsidir. Bu kompensasiya paralel-ardıcıl açarlarda və komplementar (tamamlayıcı) tranzistor cütü açarlarda əldə edilir. **Paralel-ardıcıl sxemdə** açarın biri qoşulmaya, digəri isə açılmaya işləyir. **Komplementar tranzistor** cütünün biri n tipli, digəri p -tipli kanala malik olur. İdarəedici siqnalların çıxışa keçməsi siqnalların qiymətindən asılı olduğundan, sahə təsirli tranzistorlu cərəyan açarları gərginlik açarlarına nisbətən bir çox üstünlüklərə malik olurlar. Məsələn, əgər sahə təsirli tranzistorun kəsilmə gərginliyi **3V**-dan kiçik olarsa, belə açarları tranzistor-tranzistor məntiqi sxemləri ilə idarə etmək olar. $p-n$ keçidli sahə təsirli tranzistorlu ardıcıl açar (şəkil 1.9a) istənilən polyarlığa malik giriş siqnalını buraxa bilir. Burada sahə təsirli T_1 tranzistoru bipolyar T_2 tranzistoru ilə idarə olunur. İstənilən giriş siqnalında açıq tranzistorun idarəedici-mənbə gərginliyinin sıfıra bərabər olmasını təmin etmək üçün sxemə **D** diodu qoşulmuşdur. Bu giriş siqnalının təsirindən düz müqavimətin modulyasiyasını (dəyişməsini) aradan qaldırır. **R** rezistoru **D** diodu bağlı olanda parazit tutumların boşalıb dolmasını sürətləndirmək üçün qoşulur və bağlı diodun əks müqavimətindən kiçik götürülür. Sxemin işi-

nin məğzi idarəedici siqnalın köməyiylə T_1 tranzistorunun açılması və giriş siqnalının xətasız çıxışa verilməsindən ibarətdir.

Digər sxemdə (şəkil 1.9b) $p-n$ keçidli sahə təsirli tranzistor **KMDY** tranzistorla idarə olunur. Burada U_{id} idarəedici siqnalı n kanallı T_1 tranzistorunu açır və p kanallı T_2 tranzisto-



Şəkil 1.9. $p-n$ keçidli sahə təsirli tranzistorlu (a,b) və tamamlayıcı MDY-tranzistorlu (c) analoq açar sxemləri

runu bağlayır. Mənfi gərginlik-E mənbəyindən T_1 -in kiçik müqavimətindən keçməklə T_3 açar tranzistorunun idarəedici elektroduna verilərək onu bağlayır, U_{id} gərginliyi isə T_1 -i bağlı, T_2 -ni açıq vəziyyətə keçirir. Bu zaman T_3 -ün mənbəsi açıq T_2 -nin kiçik müqaviməti ilə qısa qapanır, bu T_3 -ün tamamilə bağlı olmasını təmin edir və idarəedici-mənbə gərginliyinin təsirindən kanalın müqavimətinin modulyasiyasını aradan qaldırır.

Tamamlayıcı tranzistorlu **ardıcıl-paralel açar** (şəkil 1.9c) işləyən zaman yük müqaviməti ya T_1 vasitəsilə (T_2 bağlı olduqda) siqnal mənbəyinə qoşulmuş, ya da açıq T_2 -nin (T_1 bağlı olduqda) kiçik müqavimətilə qısa qapanmış olur. Beləliklə, tranzistorun parazit tutumlarının və bütün sxemin cərəyanları siqnal mənbəyinin və tranzistorların kiçik müqavimətlərindən

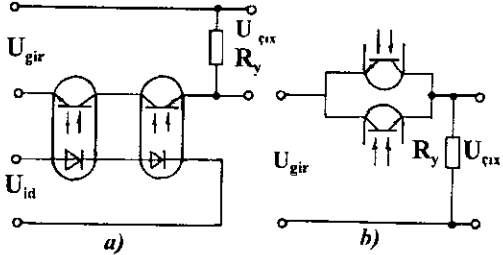
keçdiyindən bu cərəyanlar tez zəifləyəcək və yüklə gərginliyin kəskin sıçrayışları yaranmayacaqdır.

MDY (MOY) tranzistorlarında yığılmış analoq açarlarının xüsusiyyəti düz müqavimətin giriş analoq siqnalından çox asılı olmasıdır ki, bu da giriş siqnalının təsirindən kanalın keçiriciliyinin modulyasiyasına (dəyişməsinə), zamandan asılı dəyişən analoq siqnallarda isə əlavə qeyri-xətti təhriflərin yaranmasına gətirib çıxarır.

MDY tranzistorlarda açarlar **190KT1** (5 kanallı açıb-bağlayıcı), **190KT2** və **143KT1** (2 kanallı açıb-bağlayıcı), **KMOY** tranzistorlarda isə **176KT1**, **564KT3** (4 kanallı açarlar) inteqral mikrosxemləri şəklində buraxılır.

1.2. 4. Optronlu analoq açar sxemləri

Son zamanlar idarə və məlumat (giriş və çıxış) dövrlərinin tam elektriki ayrılması məqsədi ilə və invers və normal rejimdə işləyən hər iki tranzistor üçün eyni iş rejiminin verilməsinin sadə-



Şəkil 1.10. Tranzistor optronlu analoq açar sxemləri

liyinə görə optronlu açarlar geniş istifadə olunurlar. Bu sxemlərdə optronlar transformatorlu idarə dövrlərini əvəz edirlər.

Belə açar sxemi (şəkil 1.10a) kompensasiya prinsipi üzrə qoşulmuş iki eyni tipli

tranzistorlu optronlardan ibarət olur.

Fototranzistorlar qarşı-qarşıya qoşulduğundan qalıq potensialı işıqlanan fototranzistorların potensiallarının fərqinə bərabər olur.

Digər sxemdə (şəkil 1.10b) fototranzistorlar qarşılıqlı paralel qoşulur, onlar yüklə ardıcıl qoşulmuş açar rolunu oynayirlar.

2. ELEKTRON MƏNTİQ ELEMENTLƏRİ

2.1. Rəqəmli siqnalların təsvirinin xüsusiyyətləri. Məntiq cəbrinin əsasları

Rəqəmli siqnalların və sxemlərin təhlilinin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onları ifadə edən parametrlər cərəyan və gərginliklərin konkret qiymətləri yox, abstrakt **1** və **0**, X və \bar{X} simvollarıdır. Bu simvollarla rəqəmli elektron qurğularının həm giriş siqnalları, həm də çıxış funksiyaları təsvir olunur.

Məlumatın rəqəmli təsviri prinsip cəhətcə başqa riyazi aparat tələb edir.

Nəzərdə tutmaq lazımdır ki, ikilik **0** və **1** siqnallarının qiymətləri rəqəmli elementlərin vəziyyətinə heç də kəmiyyətcə qiymət vermir, onlar yalnız şərti olaraq bu vəziyyətləri qeyd edə bilirlər. Ona görə onlara hesabi mənada ədəd kimi baxmaq olmaz. Diskret avtomatikada və hesablama texnikasında ədədi məlumat ikilik say sistemində təsvir olunduğundan ikilik dəyişənləri ədədin ikilik kodunun elementləri kimi, daha doğrusu ikilik say sisteminin rəqəmləri kimi qəbul etmək olar.

İkilik say sistemi onluq say sistemi kimi mövqeli say sistemində aiddir və əsası **2** olan say sistemidir.

Tam hissəsi n mərtəbəli, kəsr hissəsi isə m mərtəbəli hər hansı A ədədi onluq say sistemində belə cəm şəklində təsvir olunur:

$$A = a_{n-1} \cdot 10^{n-1} + a_{n-2} \cdot 10^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 10^1 + a_0 \cdot 10^0 + a_{-1} \cdot 10^{-1} + a_{-2} \cdot 10^{-2} + \dots + a_{-m} \cdot 10^{-m}$$

Burada a_i -dan **9**-a qədər ədədlərdir.

Məsələn, **236,75** ədədini bu tənliyə uyğun **onluq say sistemində** belə təsvir etmək olar:

$$236,75 = 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0 + 7 \cdot 10^{-1} + 5 \cdot 10^{-2}$$

Uyğun olaraq hər hansı bir B ədədini ikilik say sistemində belə cəm şəklində təsvir etmək olar:

$$B = b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + b_i \cdot 2^i + \dots + b_0 \cdot 2^0 + b_{-1} \cdot 2^{-1} + b_{-2} \cdot 2^{-2} + \dots + b_{-m} \cdot 2^{-m}$$

Burada b_i -**0** və **1** rəqəmləri, say sisteminin əsası isə **2**-dir.

236,75 ədədi **ikilik say sistemində** belə təsvir ediləcək:

$$236,75=1 \cdot 2^7+1 \cdot 2^6+1 \cdot 2^5+0 \cdot 2^4+1 \cdot 2^3+1 \cdot 2^2+0 \cdot 2^1+0 \cdot 2^0+1 \cdot 2^{-1}+1 \cdot 2^{-2}$$

Aydındır ki, eyni bir ədəd üçün ikilik say sistemində mərtəbələrin sayı onluq say sisteminə nisbətən daha çox olacaqdır. Məsələn, üçmərtəbəli onluq **235** ədədi ikilik say sistemində **8** mərtəbə ilə təsvir olunur: **11101011**.

Yalnız iki (**0** və **1**) qiymət alan funksiyalar və arqumentlər üçün istifadə edilən riyazi aparat **D.Bulun** işləyib hazırladığı **ikilik (Bul cəbri)** məntiq cəbridir.

İkilik məntiq cəbrində konkret fiziki mənasından asılı olmadan yalnız iki qiymət ala bilən kəmiyyətlərə **məntiq (bul, ikilik) dəyişənləri (arqumentləri)** deyilir. Məntiq dəyişənləri latın əlifbasının hərfləri və indekslərlə ($X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$) ifadə edilirlər. Dəyişənin indeksi ikilik ədədin uyğun mərtəbəsini göstərir. Dəyişənin vahid qiyməti inkarsız onun düzünə indeksi ilə ifadə olunur. Məsələn, əgər dəyişən $X_i=1$ -dirsə o, ikilik ədəd kodlarında X_i kimi yazılır. Əgər $X_i=0$ -dirsə o, uyğun olaraq inkar indeksi \bar{X}_i ilə yazılır. Ona görə də ikilik **1001** ədədi dəyişənlər vasitəsi ilə $X_3, \bar{X}_2, \bar{X}_1, X_0$ kimi yazıla bilər.

Özünün n arqumentləri kimi yalnız iki qiymət ala bilən funksiyaya $F(X_0, X_1, X_2, \dots, X_n)$ **məntiq, Bul, qoşulma funksiyası** deyilir Beləliklə, Bul funksiyasını ikilik arqumentin ikilik funksiyası kimi təsvir etmək olar.

n arqumentdən asılı olan Bul funksiyasına **n -yerli funksiya** deyilir, əgər arqumentlərin bütün qiymətlərinin ikilik yığılmasında bu funksiyanın bütün qiymətləri göstərilirsə, ona **tam müəyyən olunmuş funksiya** deyilir. Bu yığımların sayı dəyişənlərin sayından asılı və 2^n -ə bərabər olur.

Əgər Bul funksiyası bütün yığımlarda təyin olunmursa, o **natamam müəyyən olunmuş funksiya** adlanır.

İkilik dəyişənlərinin yığımlarının bir hissəsi layihə edilən qurğularda realizə oluna bilmir. Məsələn, aralarındakı məsafə detalın uzunluğundan çox olan hərəsi bir X_i dəyişəni ilə kodlaşdırılan iki vəziyyət vericisindən gələn siqnallarla detalın keçib getməsini qeyd edən qurğunu layihə edərkən vericilərin eyni zamanda siqnal verməsi mümkün deyildir. Onda $X_i=1$,

$X_2=1$ halında $F(X_1, X_2)$ funksiyası **qeyri-müəyyən** adlanır və \emptyset işarəsi ilə qeyd edilir. Qeyri-müəyyən vəziyyətlərə malik Bul funksiyaları formalaşdırılarkən onları mütləq **0** və **1** qiymətlərinə gətirirlər. Fiziki qurğuda belə vəziyyətlər realizə olunmadığından bu qiymətlərə gətirilən funksiyanın qiyməti layihəçidən və qoyulan meyarlardan, məsələn, qurğunun sadəliyindən, maksimal etibarlılığından asılı olur.

Bul funksiyaları **kombinasiyalı** və **zaman** xarakterli olur.

Kombinasiyalı funksiyaların qiymətləri onların arqumentləri ilə birmənalı təyin edilə bilər. Məsələn, yalnız arqumentlərin hamısı vahid olanda üst-üstə düşmə funksiyası vahid olur. Qalan hallarda arqumentlərin ardıcılığından, daxil olma qaydasından və vaxtından asılı olmayaraq, bu funksiya sıfır bərabər olur. Kombinasiyalı funksiyaları **yaddaşsız funksiyalar** adlandırırlar, onlar məlumatı yadda saxlamaq xüsusiyyətinə malik olmurlar. Bu funksiyalar yalnız yeni arqumentlərin qiymətlərinə reaksiya verə bilirlər. Belə funksiyaları realizə edən sxemlərə **kombinasiyalı sxemlər** deyilir.

Zaman funksiyalarının qiymətləri həm arqumentlərin cari andakı qiymətləri ilə, həm də başqa parametrlərlə və hər şeydən əvvəl zamanla müəyyən edilir. Ona görə də arqumentlərin eyni bir qiymətlərində zaman funksiyası başqa qiymət ala bilər.

Zaman funksiyalarını **yaddaşlı funksiyalar** adlandırırlar, çünki onlar məlumatı yadda saxlaya bilirlər. Onlar ya arqumentlərin əvvəlki qiymətlərini, ya da funksiyanın əvvəlki qiymətini yadda saxlayır, arqumentlərin həm yeni, həm də köhnə qiymətlərinə və həmçinin funksiyanın köhnə qiymətinə reaksiya göstərirlər.

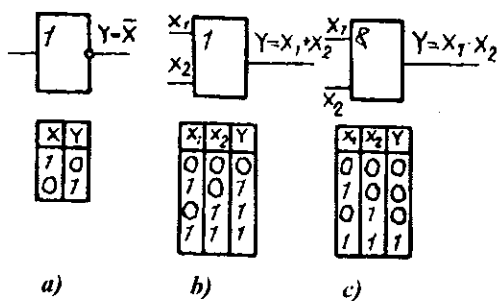
Zaman deyərkən fiziki zaman adlanan aramsız kəmiyyət yox, **şərti diskret zaman** nəzərdə tutulmalıdır. Bizi tam müsbət ədədlərlə ifadə edilən diskret zaman vahidləri maraqlandırır. Bu qiymətlər arasında baş verən hadisələr kənar qalır və heç bir maraqlandırmır. Diskret zamanın qiymətlərini

$t=0,1,2,3,\dots$ -lə qeyd edirlər. Bu halda sxemin bir haldan digərinə keçməsi diskretlik intervalı adlanan hər hansı bir zaman aralığından tez baş verə bilməz.

Məntiq cəbrinin əsasını üç əsas əməliyyat təşkil edir: **inversiya (məntiqi inkar)**, **dizyunksiya (məntiqi toplama)** və **konyuksiya (məntiqi vurma)**.

Inversiya "**DEYİL**" əməliyyatı adlanır və $Y=\bar{X}$ şəklində yazılır. Belə məntiq elementi tranzistorlu açarda realizə oluna bilər. Açarın girişinə "**1**" verildikdə çıxışda "**0**" və əksinə alınır. Deməli, giriş və çıxış siqnalları invers olurlar.

Bir və ya bir neçə dəyişən üzərində aparılan əməliyyatlar həqiqilik cədvəllərində təsvir edirlər. Belə cədvəllərdə ikilik dəyişənlərin bütün mümkün olan kombinasiyaları və əməliyyatlar nəticəsində funksiyanın aldığı qiymətlər göstərilir. "**DEYİL**" məntiq elementinin şərti işarəsi və həqiqilik cədvəli şəkil 2.1a-da göstərilmişdir.



Şəkil 2.1. "**DEYİL**" (a), "**VƏ YA**" (b) və "**VƏ**" (c) məntiq elementlərinin şərti işarələri və həqiqilik cədvəlləri

Dizyunksiya əməliyyatı iki və daha çox dəyişən üzərində aparılır. Ona "**VƏ YA**" əməliyyatı da deyilir, o, $Y=X_1+X_2$ və ya $Y=X_1 \vee X_2$ şəklində yazılır. Hər dəyişən iki qiymət ala bildiyindən həqiqilik cədvəli **4 sətirdən** ibarət olur (şəkil