



**Коммерциялық емес  
акционерлік  
қоғам**

**АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА  
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электроника кафедрасы

## **ЭЛЕКТРОНИКА**

5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептеу-графикалық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2015

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: Жолшараева Т.М., Бакирова Н.С. Электроника: 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептеу-графикалық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. –Алматы: АЭЖБУ, 2015. – 22 б.

Әдістемелік нұсқаулықтар есептеу-графикалық жұмыстарға арналған тапсырмадан және мынадай тақырыптарға есепті шығарудың мысалдарынан құралған: шала өткізгіштердің өткізгіштігі, шала өткізгішті диодтар, транзисторлық күшейткіштің графо-аналитикалық есебі, комбинациялық логикалық сұлбаларды синтездеу.

Әдістемелік нұсқаулықтар 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттеріне арналған және РТЖБ факультетінің барлық мамандықтары студенттерінің қолдануына болады.  
Без.-7, кесте-17, әдеб.көрсеткіші – 8 атау.

Пікір беруші: физ.-мат. ғыл. канд., доцент Б.М. Шайхин.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2012 ж. баспа жоспарына сәйкес басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2015 ж.

## 1 ЕГЖ –ты орындауға арналған жалпы әдістемелік нұсқаулар

«Электроника» пәні 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттеріне арналады.

Курс бойынша дәрістер оқылады, есептеу-графикалық және зертханалық жұмыстар орындалады. Есептеу-графикалық жұмыстар (ЕГЖ) курсты оқытудағы негізгі бөлімдерінің бірі болып табылады.

«Электроника» пәнін оқытудың мақсаты элементтік базаны, жұмыстың принциптері мен жобалаудың әдістерін және электрондық пен микроэлектрондық құрылғыларды есептеу тәсілдерін үйрету болып саналады.

Пәнді оқудың нәтижесінде студенттер диодтардың, транзисторлардың және интегралдық микросұлбалардың негізгі сипаттамалары мен параметрлерін білу қажет. Сонымен қатар, негізгі аналогты құрылғыларды, комбинациялық және тізбекті логикалық сұлбалардың жұмыс істеу принциптерін меңгеру керек. ЕГЖ-ні орындау студенттерге элементтік базаны таңдау мен электрондық сұлбаларды есептеуді орындау кезінде теориялық білімдерін қолдануға мүмкіндік береді.

Пән физика, жоғары математика, электр тізбектер теориясы курстарына негізделеді.

Бұл әдістемелік нұсқаулар үш есептеу-графикалық жұмыстың тапсырмалары мен мынадай тақырыптарға арналған есептерді шешудің мысалдарынан құралған: шала өткізгіштердің өткізгіштігі, шала өткізгішті диодтар, транзисторлық күшейткіштің графоаналитикалық есебі, комбинациялық логикалық сұлбалардың синтезі.

ЕГЖ-ны орындау кезінде:

- сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы екі цифрына сәйкес өзінің нұсқасын таңдауы керек;

- нұсқаның нөмірі, студенттің тобы, тегі мен аты-жөні титул бетінде көрсетілуі қажет;

- тапсырманың мәтіні ЕГЖ түсініктеме жазбасында қысқартылмай көшірілуі қажет;

- түсініктеме жазбасында өлшеу бірліктері мен соңғы нәтижелеріне сәйкесті есептеу формулалары ғана емес, сонымен қатар түсініктемелер мен керекті аралық есептеулер келтірілуі қажет;

- барлық мәтіндік және графикалық материалдар фирмалық стандартқа [1] сәйкес болуы, сонымен бірге титул бетінен, тапсырмадан, негізгі бөлік – есептерді шығару мен әдебиеттерден тұру керек.

## 2 Есептеу-графикалық жұмыстарға тапсырма

### 2.1 №1 ЕГЖ-ға тапсырма

№1 есеп

Донорлық қоспаның концентрациясы  $N_D$  атом/см<sup>3</sup>, акцепторлық қоспада -  $N_A$  атом/см<sup>3</sup> құрайды (2.1 кесте), шала өткізгіштегі тасымалдаушылардың өзіндік концентрациясы -  $n_i$ . Берілген температурада ( $T$ )  $p$ - $n$  өткелінің потенциалдарының түйісу айырымын табу керек (2.2 кесте).

2.1 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$N_D$	$2 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{16}$	$7 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{16}$
$N_A$	$2 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{19}$	$8 \cdot 10^{17}$	$6 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{18}$

2.2 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T, ^\circ C$	20	25	27	18	21	19	30	28	22	25
$n_i$	$2 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{13}$

№ 2 есеп

$T=300 K$  болған кезде диодтың кері тогы  $I_0$  (2.3 кесте). Тұрақты токтағы шала өткізгішті диодтың кедергісін және тура кернеу  $U_{тура}$  кезіндегі дифференциалдық кедергісін анықтау керек (2.4 кесте).

2.3 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$I_0, мкА$	1,5	1	2	1,5	1,5	3,5	2,5	2,5	3	1,8

2.4 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{тура}$ $мВ$	150	180	200	150	100	250	150	200	140	150

№3 есеп

Жартылай өткізгішті диодта тура кернеу  $U_{тура}$  және температура кезінде тура тогы  $I_{тура}$  бар.  $U = U_1$  және  $U = 0$  кернеулері кезінде кері тоқты  $I_0$ , дифференциалды кедергіні  $r_{диф}$ . анықтау керек ( 2.5, 2.6 кестелерді қара).

2.5 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$I_{тура, A}$	0,07	0,08	0,5	0,8	0,8	0,09	0,6	0,7	0,09	0,4
$U_{тура, B}$	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2

2.6 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T, ^\circ C$	30	25	40	35	32	40	35	40	30	32
$U_1, B$	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4

№4 есеп

Кернеудің параметрлік тұрақтандырғыш сұлбасындағы жүктеменің кернеуі  $R_{ж}$ . Стабилитронның сипаттамалары:  $U_{тұр}$ . – тұрақтандыру кернеуі,  $I_{тұр.макс.}$ - тұрақтандырудың максимал тогы,  $I_{тұр.мин}$  - тұрақтандырудың минимал тогы (2.7 кесте). Кіріс кернеу  $U_{кір.мин.}$ -дан  $U_{кір.макс.}$ -ға дейін өзгереді (2.8 кесте). Тұрақтандырғыштың сұлбасын, стабилитронның вольт-амперлік сипаттамасын және ондағы жүктеме сызығын келтіру керек. Балласттық кедергіні  $R_б$  табу қажет.  $U_{кір}$  өзгеруіндегі барлық аясында тұрақтандыру болу мүмкіндігін анықтау керек.

2.7 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{жс, КОМ}$	0,6	1	1	0,8	1,5	1,5	2	2	3	2,5
$U_{тұр}, B$	8	5	6	6,5	7	8	6,8	9	10	5
$I_{тұр.мин}, МА$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5
$I_{тұр.макс}, МА$	2,5	1,5	3	3,2	3,1	2,5	3	2,8	2,9	3.2

2.8 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{кір.мин}, B$	9	7	8	10	10	10	10	12	12	8
$U_{кір.макс}, B$	20	17	18	20	22	22	20	24	23	15

## №5 есеп

Стабилитрон тұрақтандыру кернеуінің температуралық коэффициенті  $\alpha_n, \%/^{\circ}C$ ,  $20^{\circ}C$  кезінде тұрақтандырудың кернеуі кернеуі -  $U_{ст} B$ , (2.9 кесте).  $T, ^{\circ}C$  кезінде тұрақтандыру кернеуі қандай болатынын анықтау керек (2.10 кесте).

2.9 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\alpha_n, \%/^{\circ}C$	0,02	0,03	0,01	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03
$U_{тұр}, B$	10	9	8	8	6,2	5,6	10	15	12	5,6

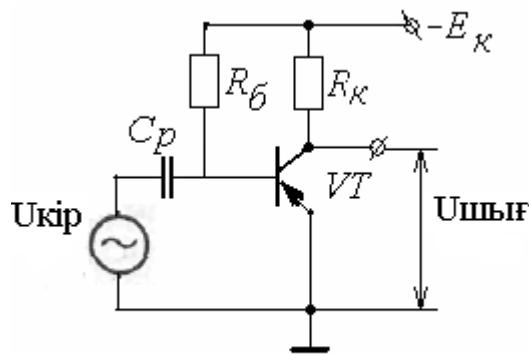
2.10 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T, ^{\circ}C$	40	50	60	70	50	70	60	60	60	70

## 2.2 №2 ЕГЖ-ға тапсырма

### №1 есеп

$VT$  транзисторы тыныштық күйдегі база тоғының ығысуы бар  $OЭ$  сұлбасы (2.1 сурет) бойынша күшейткіштік каскадқа қосылған. База тізбегіне ығысуды беру үшін  $R_b$  резисторы пайдаланылады. Каскад теріс  $E_k$  кернеуі бар бір энергия көзінен қоректенеді. База тоғының тұрақты құраушысы  $I_{b0}$ , база тоғының айнымалы құраушысы  $I_{mb}$ , жүктеме резисторының кедергісі  $R_k$ , коллектормен жиналатын максимал рұқсат етілген қуат  $P_{kmax}$  (2.11 кесте) берілген. Күшейтілетін тербелістің жиілік диапазоны  $f_m \div f_{ж}$  (2.12 кесте).



2.1 сурет

Күшейткіштің графо-аналитикалық есебін орындау керек.

Оған мынандай талаптар қойылады:

- а)  $P_{kmax}$  сызығын салу керек;
- б) шығыс сипаттамалары бойынша мына шамаларды табу керек:
  - 1) тұрақты құраушы коллектор тоғын  $I_{k0}$ ;
  - 2) тұрақты құраушы коллектор-эмиттер кернеуін  $U_{кэ0}$ ;
  - 3) айнымалы құраушы коллектор тоғының амплитудасын  $I_{mk}$ ;
  - 4) шығыс қуатын  $P_{шығ}$ ;
  - 5) шығыс кернеудің амплитудасын  $U_{mR} = U_{mkэ}$ ;
  - 6) ток бойынша күшейту коэффициентін  $K_I$ ;
  - 7) коллекторлық тізбектегі толық жұмсалатын қуатты  $P_0$ ;
  - 8) коллекторлық тізбектегі  $ПЭК$   $\eta$ .

Тыныштық режиміндегі коллекторда бөлінетін  $P_{к0}$  қуаты максималды рұқсат етілген  $P_{kmax}$  қуатынан асып кетпейтінін тексеру қажет.

- в) кіріс сипаттамаларының көмегімен мыналарды анықтау керек:
  - 1) ығысу кернеуін  $U_{бэ0}$ ;
  - 2) кіріс сигналының амплитудасын  $U_{mbэ}$ ;
  - 3) кіріс қуатты  $P_{кір}$ ;
  - 4) кернеу  $K_U$  және қуат  $K_P$  бойынша күшейту коэффициенттерін;

- 5) каскадтың кіріс кедергісін  $R_{кір}$ ;
- б) резистордың кедергісін  $R_б$ ;
- 7) бөлгіш конденсатордың сыйымдылығын  $C_P$ ;
- г) күшейткіштің жұмыс нүктелері үшін мына параметрлерді табу  $h_{21э}$ ,  $h_{22э}$ ,  $R_{шығ} = 1/h_{22э}$ ,  $h_{11э}$ , және осыған сәйкес  $K_I$ ,  $K_U$ ,  $K_P$ ,  $R_{кір}$  шамаларын есептеу қажет.

2.11 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры					
Нұсқа	1	2	3	4	5
$VT$	$KT317A$	$KT313A$	$KT361B$	$KT120A$	$GT402D$
$E_K, B$	4	6	25	0,8	6
$I_{б0}, mA$	0,005	0,5	0,2	0,4	3
$I_{тб}, mA$	0,002	0,1	0,1	0,2	1
$R_K, кОм$	10	0,2	0,5	0,05	0,02
$P_{кmax}, Вт$	0.001	0.1	0,75	0,012	2,0

2.11 кестенің жалғасы

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры					
Нұсқа	6	7	8	9	0
$VT$	$KT501A$	$KT601A$	$KT803A$	$GT703A$	$KT902A$
$E_K, B$	30	60	50	15	30
$I_{б0}, mA$	0,15	0,15	75	10	24
$I_{тб}, mA$	0,05	0,075	20	100	8
$R_K, кОм$	2,5	1,5	0,0125	0,01	0,012
$P_{кmax}, Вт$	0,35	1.5	150	15	40

2.12 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры					
Нұсқа	1	2	3	4	5
$f_m, Гц$	100	150	80	95	120
$f_{жс}, кГц$	6	8	5	6	9

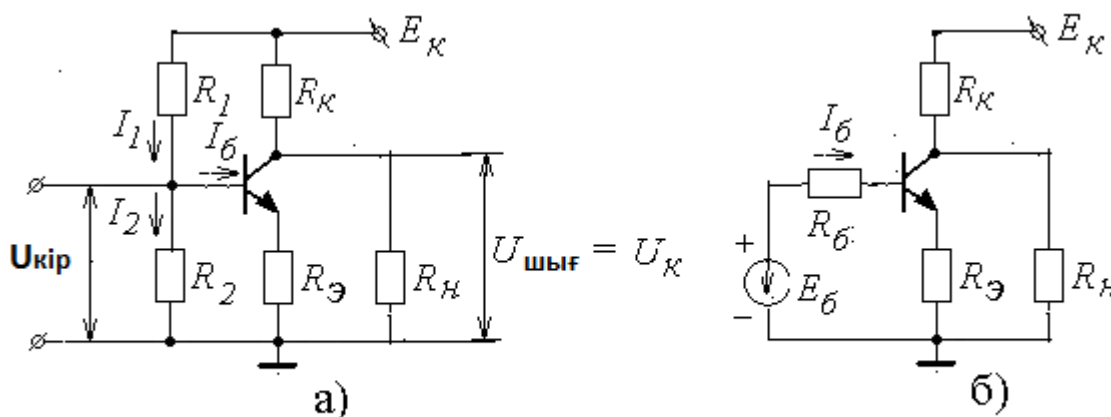


2.12 кестенің жалғасы

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры					
Нұсқа	6	7	8	9	0
$f_m, \Gamma\text{ц}$	100	120	150	100	150
$f_{жс}, \kappa\Gamma\text{ц}$	12	10	18	9	7

№2 есеп

2.2,а суретте көрсетілген сұлбада ток бойынша беріліс коэффициенті  $\beta$  бар транзистор базасының тізбегінде бөлгіш қолданылады (2.13 кесте). Егер  $R_1, R_2, R_K, R_Э, E_K$  берілген болса,  $U_K$  кернеуін табу қажет (2.14 кесте).



2.2 сурет

2.13 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\beta$ .	49	30	29	35	45	20	38	25	29	35
$E_K, B$	15	10	12	10	15	10	12	15	10	12

2.14 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры											
Нұсқа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, \kappa\text{Ом}$	100	33	75	150	33	150	33	75	75	150	100
$R_2, \kappa\text{Ом}$	51	15	33	51	10	51	10	33	33	51	33
$R_K, \kappa\text{Ом}$	2	1,5	1	2	2	2	1	2	2	1	1
$R_Э, \kappa\text{Ом}$	0.51	0,2	0,33	0,1	0,2	0,1	0,33	0,2	0,1	0,33	0,33

### 2.3 №3 ЕГЖ-ға тапсырма

Комбинациялық логикалық сұлбаны синтездеуді жүргізу, яғни:

а) берілген ақиқат кестесі бойынша (2.15, 2.16 кестелерді қара) дизъюнктивті қалыпты формада (ДКФ) логикалық өрнекті жазу;

б) Карно картасын пайдаланып, логикалық өрнектің минимизациясын жүргізу;

в) ЖӘНЕ-ЕМЕС базисіне өрнекті келтіру;

г) ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементінде сұлбаны құру;

д) сұлбаның кірісі мен шығысында сигналдардың уақытқа байланысты диаграммаларын салу керек.

2.15 кесте

Барлық нұсқалар үшін жалпы мәліметтер					Нұсқалар (сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры бойынша)									
Жи-нақ	Кіріс сигналдары				Шығыс сигналдары									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_0$
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
4	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
5	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
7	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0

2.15 кестенің жалғасы

Барлық нұсқалар үшін жалпы мәліметтер					Нұсқалар (сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры бойынша)									
Жи-нақ	Кіріс сигналдары				Шығыс сигналдары									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_0$
8	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
10	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1
11	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1
12	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
13	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
14	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1
15	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

### 3 Есептеу-графикалық жұмыстың есептерін шешудің мысалдары

#### 3.1 $p$ - $n$ ауысуындағы потенциалдардың түйісу айырымы

Егер донорлық қоспаның концентрациясы  $N_d = 2,5 \cdot 10^{15}$  атом/см<sup>3</sup>, акцепторлық қоспада  $N_a = 2 \cdot 10^{17}$  атом/см<sup>3</sup>, жартылай өткізгіштегі тасымалдаушылардың өзіндік концентрациясы -  $n_i = 3 \cdot 10^{14}$  болса,  $T = 300$  К –ге тең температурада  $p$ - $n$  ауысуы үшін потенциалдардың түйісу айырымын  $\varphi_K$  табу керек.

Есептің шешімі.

Электронның заряды  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл., Больцман тұрақтысы  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

$$\varphi_K = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2};$$

$$\varphi_K = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \ln \frac{2 \cdot 10^{17} \cdot 2,5 \cdot 10^{15}}{(3 \cdot 10^{14})^2} = 0,223 \text{ В.}$$

#### 3.2 Диодтың сипаттамалық кедергілері

Шала өткізгішті диодтың  $R_0$  тұрақты токқа кедергісін және  $U_{\text{тура}} = 0,2$  В тура кернеу түскендегі дифференциалдық кедергісін анықтау керек.

Диодтың кері тогы  $T = 300$  К кезінде  $I_0 = 2$  мкА тең.

Есептің шешімі:

$U = 0,2$  В тура кернеу кезіндегі диодтың тогын мына формуламен табамыз:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{Uq}{kT}} - 1 \right) = 2 \cdot 10^{-6} \left( e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} - 1 \right) = 4,547 \text{ мА.}$$

Тұрақты токтағы диодтың кедергісі

$$R_0 = \frac{U}{I} = \frac{0,2}{4,547 \cdot 10^{-3}} = 43,987 \text{ Ом.}$$

Дифференциалдық кедергі  $r_{\text{диф}}$

$$(r_{\text{диф}})^{-1} = \frac{dI}{dU} = I_0 \left( \frac{q}{kT} \right) \cdot e^{\frac{qU}{kT}} = 0,176 \text{ См}; \quad r_{\text{диф}} = \frac{1}{0,176} = 5,688 \text{ Ом.}$$

$I \gg I_0$  болғандықтан, мына қатынасты қолдануға болады

$$(r_{\text{диф}})^{-1} = \frac{dI}{dU} = \left( \frac{q}{kT} \right) \cdot (I + I_0) \approx \frac{q}{kT} I, \text{ демек}$$

$$r_{\text{диф}} = \frac{kT}{qI} = 5,691 \text{ Ом.}$$

### 3.3 Түзеткіштік диодтың параметрлері

Тура кернеу  $U_{тура} = 0,2 \text{ В}$  және температура  $T = 313 \text{ К}$  кезінде жартылай өткізгішті диодтың тура тогы  $I_{тура} = 0,5 \text{ А}$ .

$U_1 = 0,1 \text{ В}$  және  $U = 0$  кернеулері кезінде кері токты  $I_0$ , дифференциалдық кедергіні  $r_{диф}$  анықтау қажет.

Есептің шешімі:

$$\text{а) } \varphi_T = \frac{kT}{q}; \quad \varphi_T = 27 \text{ мВ.}$$

Вольт-амперлік сипаттаманың, яғни  $I = I_0(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1)$  формуласынан алатынымыз 
$$I_0 = \frac{I}{e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1} = 7,473 \cdot 10^{-6} \text{ А};$$

б) сигналдың  $0,1 \text{ В}$  кезіндегі  $r_{диф}$  анықтау үшін, өткел арқылы өтетін токты  $I$  табамыз

$$I = 7,473 \cdot 10^{-6} (e^{\frac{100}{27}} - 1) \approx 29,59 \text{ мА};$$

$$r_{диф} = \frac{\varphi_T}{I} \approx \frac{0,027}{29,59 \cdot 10^{-3}} \approx 0,912 \text{ Ом};$$

в) сигналдың  $U=0$  кезіндегі дифференциалдық кедергісі  $r_{диф}$

$$r_{диф} = \frac{\varphi_T}{I_0} \approx \frac{0,027}{7,473 \cdot 10^{-6}} = 3,613 \text{ кОм.}$$

### 3.4 Кернеудің параметрлік тұрақтандырғышы

Кернеудің параметрлік тұрақтандырғышы сұлбасындағы жүктеме кедергісі  $R_{жс} = 1 \text{ кОм}$ . Стабилитронның берілген мәліметтері: тұрақтандырғыш кернеуі  $U_{тұр} = 6 \text{ В}$ ; тұрақтандырудың максимал тогы  $I_{тұр.макс.} = 3 \text{ мА}$ ; тұрақтандырудың минимал тогы  $I_{тұр.мин} = 0,6 \text{ мА}$ .

Кіріс кернеуі  $U_{кір.мин.} = 8 \text{ В}$ -тен  $U_{кір.макс.} = 18 \text{ В}$ -ке дейін өзгереді. Тұрақтандырғыштың сұлбасын, стабилитронның вольт-амперлік сипаттамасын және ондағы жүктеме сызығын салу керек. Балласттық кедергіні  $R_{\sigma}$  табу қажет.  $U_{кір}$  өзгеруінің барлық диапазонында тұрақтандырудың болатынын анықтау қажет.

Есептің шешімі:

$$R_{\delta} = \frac{(U_{вхср} - U_{см})}{(I_{смср} + I_H)},$$

мұндағы  $U_{кір\ орт} = 0,5 \cdot (U_{кір\ мин} + U_{кір\ макс}) = 0,5 \cdot (8 + 18) = 13 \text{ В}$ .

Стабилитрон арқылы өтетін орташа ток

$$I_{см\ орт} = 0,5 (I_{см\ мин} + I_{см\ макс}) = 0,5 (0,6 + 3) = 1,8 \text{ мА}.$$

$$\text{Жүктеме арқылы өтетін ток } I_H = \frac{U_{см}}{R_H} = \frac{6}{1000} = 6 \text{ мА}.$$

$$\text{Балласттық кедергі } R_{\delta} = \frac{13 - 6}{7,8 \cdot 10^{-3}} \approx 894 \text{ Ом}.$$

$U_{кір}$  өзгерісі үшін тұрақтандыру мына шектерде болады:

$$U_{кір.мин} = U_{тұр} + (I_{тұр.мин} + I_{жс})R_{\delta} = 9,2 \text{ В-тен}$$

$$U_{кір.макс} = U_{тұр} + (I_{тұр.макс} + I_{жс})R_{\delta} = 14 \text{ В-ке дейін}.$$

Сонымен, қорек көзі кернеуінің барлық диапазонында тұрақтандыру бола алады екен.

### 3.5 Стабилитронның тұрақтану кернеуіне температураның ықпалы

Стабилитронның тұрақтану кернеуінің температуралық еселігі

$\alpha_H = 0,01 \text{ \%} / ^{\circ}\text{C}$  болса,  $20^{\circ}\text{C}$  -қа тең температурада тұрақтану кернеуі  $U_{тұр} = 8 \text{ В}$ .

$T_0 = 60^{\circ}\text{C}$  температурада тұрақтану кернеуі қандай болатынын анықтау керек.

Есептің шешімі:

$$\alpha_H = \frac{\Delta U_{см}}{U_{см} \cdot \Delta T} \cdot 100\% ;$$

$T_0$ -ге тең температурада  $\Delta U_{см} = U_{см1} - U_{см}$  ;

$$\Delta T = 60 - 20 = 40^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta U_{см} = \frac{\alpha_H \cdot U_{см} \cdot \Delta T}{100} = \frac{0,01 \cdot 8 \cdot 40}{100} = 0,032 \text{ В}.$$

$T = 60^{\circ}\text{C}$ -ге тең температурада  $U_{тұр1} = 8 + 0,032 = 8,032 \text{ В}$ .

### 3.6 Күшейткіштің графо-аналитикалық есептеуі

$VT$  транзисторы күшейткіштік каскадқа  $OЭ$  сұлбасына сәйкес қосылған (2.1 сурет). Каскад бір қорек көзінен  $E_K = -10 \text{ В}$ -қа тең кернеумен қоректенеді.

База тізбегіне ығысуды беру үшін  $R_{\delta}$  резисторы қолданылады. Тыныштық күйде база тогында ығысу орын алады.

База тогының тұрақты құраушысы  $I_{\delta 0} = 0,3 \text{ мА}$ , база тогының айнымалы құраушысының амплитудасы  $I_{m\delta} = 0,2 \text{ мА}$ , жүктеменің кедергісі  $R_K = 0,5 \text{ кОм}$ ,

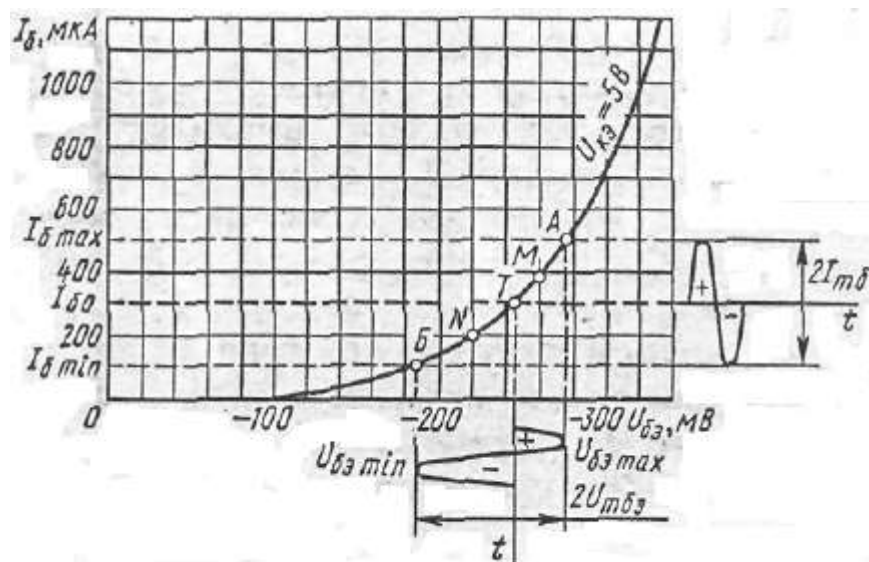
ал коллектормен сейілетін қуаттың ең үлкен шамасы  $P_{Kmax} = 150 \text{ мВт}$ .  
 Күшейтілетін тербелістің жиілік диапазоны  $f_m = 80 \text{ Гц}$ ,  $f_{жс} = 5 \text{ кГц}$ .

Алдыға қойылатын мақсаттар:

- а) күшейткіштің графо-аналитикалық есебін орындау;
- б) тыныштық күй режиміндегі коллекторда бөлінетін  $P_{КО}$  қуатының қуаттың ең үлкен мүмкін мәнінен ( $P_{Kmax}$ ) аспау шартын тексеру керек;
- в) күшейткіштің жұмыс нүктесі үшін  $h_{21э}$ ,  $h_{22э}$ ,  $R_{шығ} = 1/h_{22э}$ ,  $h_{11э}$ , шамаларын табу және аналитикалық түрде  $K_I$ ,  $K_U$ ,  $K_P$ ,  $R_{кір}$  шамаларын есептеп шығару қажет.

Шешімі.

Транзистордың сипаттамалары анықтамадан алынады, мысалы, 3.1 және 3.2 суреттерде қажетті мәліметтер келтірілген:

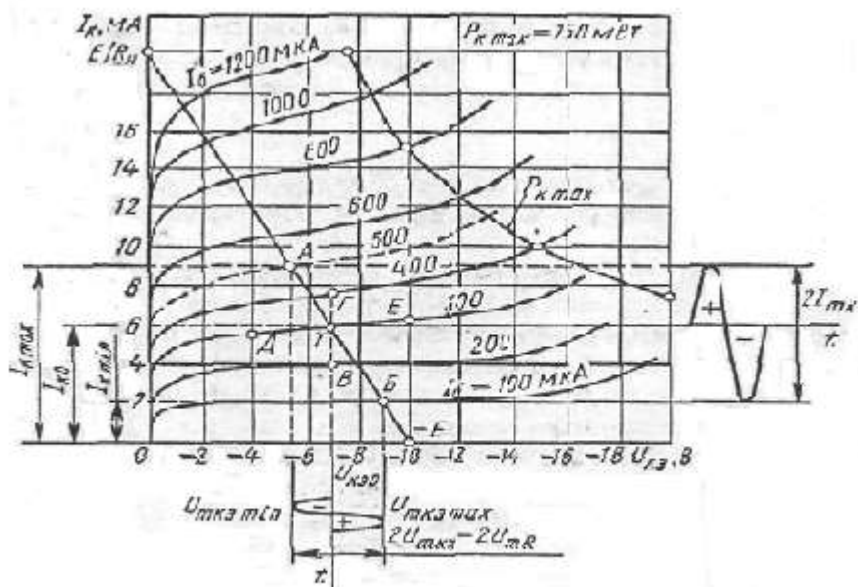


3.1 сурет

а) шығыс сипаттамаларының жиынтығы бойынша (3.2 сурет) мына теңдеуді пайдалана отырып, рұқсат етілген максимал қуаттың сызығын жүргіземіз:

$$I_{Kmax} = P_{Kmax} / U_{Kэ} \quad I_{Kmax} = 150 \cdot 10^{-3} / U_{Kэ}.$$

Мысалы,  $U_{Kэ}$  –дың -7,5; -10; -15; -20 В-ке тең мәндерін теңдеуге қойсақ, тиісінше 20; 15; 10; 7,5 мА –ге тең  $I_{Kmax}$  мәндерін анықтаймыз (3.1 кесте).



3.2 сурет

### 3.1 кесте

$U_{кэ} (В)$	-7,5	-10	-15	-20
$I_{кmax} (мА)$	20	15	10	7,5

Осы нүктелер арқылы 3.2 суреттегі  $P_{кmax}$  сызығын жүргіземіз;

б) жүктеме сызығының теңдеуін  $I_k = (E - U_{кэ}) / R_k$  пайдаланып, шығыс сипаттамаларының жиынтығында жүктеме сызығын жүргіземіз

$I_k = 0$  болса,  $U_{кэ} = E = -10 В$  - жүктеме сызығының бірінші нүктесі,

$U_{кэ} = 0$  болса,  $I_k = E / R_k = 10 / 500 = 20 мА$  - екінші нүкте. Осы нүктелерді қосамыз.

База тогының  $I_{б0} = 300 мкА$  тұрақты құраушысына сәйкес сипаттамасымен жүктеме сызығының қиылысу нүктесі жұмыс нүктесін анықтайды. Оған сәйкес

$$I_{к0} = 6 мА, U_{кэ0} = -7 В$$

болады.

Коллектор тогы айнымалы құраушысының амплитудасы

$$I_{мк} = \frac{I_{кmax} - I_{кmin}}{2}, \quad I_{мк} = (9 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) / 2 = 3,5 мА.$$

Жүктемедегі айнымалы кернеу амплитудасы

$$U_{mR} = U_{мкэ} = I_{мк} R_k, \quad U_{mR} = U_{мкэ} = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 1,75 В.$$

Ток бойынша күшейту коэффициенті

$$K_I = I_{мк} / I_{мб}, \quad K_I = 3,5 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 10^{-3} = 17,5.$$

Шығыс қуаты  $P_{шығ} = 0,5 I_{тк} U_{тR}$ ,

$$P_{шығ} = 0,5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,75 = 3 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ мВт}.$$

Коллектор тізбегіндегі толық пайдаланылатын қуат

$$P_0 = E_K I_{K0}, \quad P_0 = 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 60 \text{ мВт}.$$

Коллектор тізбегіндегі пайдалы әсер еселігі

$$\eta = P_{шығ} / P_0, \quad \eta = 3 \cdot 10^{-3} / 60 \cdot 10^{-3} = 0,05 = 5 \%$$

Коллектор тогы тұрақты құраушысының коллекторда сейілетін қуаты:

$$P_{K0} = I_{K0} U_{KЭ0}, \quad P_{K0} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 7 = 42 \text{ мВт}, \quad P_{Kmax} = 150 \text{ мВт},$$

$P_{K0} < P_{Kmax}$  - сәйкесінше, күшейткіштің жұмыс режимі рұқсат етілген болып саналады;

в) әрі қарай есепті кіріс сипаттамаларының жиынтығы бойынша жүргіземіз (3.1 сурет). Транзисторлардың кіріс сипаттамалары бір-біріне жақын орналасқан, сондықтан жұмыс кіріс сипаттамасы ретінде активті режимге сәйкес келетін статикалық кіріс сипаттамаларының біреуін, мысалы,  $U_{KЭ} = -5 \text{ В}$  кезіндегі сипаттаманы қабылдауға болады. Графиктен  $|U_{бЭ0}| = 0,25 \text{ В}$  екенін табамыз.

Кіріс кернеудің амплитудасы

$$U_{тбЭ} = \frac{U_{бЭmax} - U_{бЭmin}}{2}, \quad U_{тбЭ} = (277 \cdot 10^{-3} - 187 \cdot 10^{-3}) / 2 = 45 \text{ мВ}.$$

Кернеу бойынша күшейту коэффициентінің модулі

$$|K_U| = U_{ткЭ} / U_{тбЭ}, \quad |K_U| = 1,75 / 45 \cdot 10^{-3} = 39.$$

Қуат бойынша күшейту коэффициенті

$$K_P = |K_I K_U|, \quad K_P = 39 \cdot 17,5 \cong 690.$$

Кіріс қуаты

$$P_{кір} = 0,5 I_{тб} U_{тб}, \quad P_{кір} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 4,5 \text{ мкВт}.$$

Кіріс кедергісі

$$R_{кір} = U_{тбЭ} / I_{тб}, \quad R_{кір} = 45 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 10^{-3} = 225 \text{ Ом}.$$

Резистордың кедергісі

$$R_{б} = \frac{E - |U_{бЭ0}|}{I_{б0}}, \quad R_{б} = (10 - 0,25) / 0,3 \cdot 10^{-3} = 32,5 \text{ кОм}.$$



Бөлгіш конденсатордың сыйымдылығы  $C_p$  мына шартпен анықталады:

$$\frac{1}{\omega_H \cdot C_p} = \frac{R_{ex}}{10},$$

мұндағы  $\omega_H$  – төменгі жұмыс жиілігі;

$$C_p = \frac{10}{\omega_H \cdot R_{ex}} = \frac{10}{2\pi \cdot f_H \cdot R_{ex}}, \quad C_p = 10 / (6,28 \cdot 80 \cdot 225) = 90 \text{ мкФ};$$

г)  $U_{кэ} = -7 \text{ В}$  және  $I_{к0} = 6 \text{ мА}$  кезінің жұмыс нүктелердегі  $h$ -параметрлерін есептейміз

$$h_{21э} = \beta = \left. \frac{\Delta I_k}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кэ=const}} ;$$

3.2 суреттегі  $B$  және  $\Gamma$  нүктелері бойынша анықтаймыз:

$$h_{21э} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 18,5.$$

$D$  және  $E$  нүктелері бойынша анықтаймыз:

$$h_{22э} = \left. \frac{\Delta U_{кэ}}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_{б=const}} \quad h_{22э} = \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{6} = 117 \text{ мкСм}.$$

$$R_{шығ} = \frac{1}{h_{22э}}, \quad R_{шығ} = \frac{1}{0,117 \cdot 10^{-3}} = 8,5 \text{ кОм},$$

$$\text{Параметр } h_{11э} = \left. \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кэ=const}} .$$

3.1 суреттегі  $M$  және  $N$  нүктелері бойынша анықтаймыз:

$$h_{11э} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{0,19 \cdot 10^{-3}} = 210 \text{ Ом}.$$

Транзистор сипаттамасының өрлігі

$$S = y_{21э} = \frac{h_{21э}}{h_{11э}} = \frac{18,6}{210} = 88 \text{ мА/В}.$$

Табылған параметрлердің көмегімен жуықтау формулалары бойынша ізделген мәндерді анықтаймыз. Ток бойынша күшейту коэффициенті  $K_I \approx h_{21э} = 18,5$ ; дәлірек алғанда

$$K_I = \frac{h_{21э} \cdot R_{вых}}{R_K + R_{вых}} = \frac{18.5 \cdot 8.5 \cdot 10^3}{0.5 \cdot 10^3 + 8.5 \cdot 10^3} = 17.5, \text{ бұл есептің графо-аналитикалық}$$

нәтижесіне сәйкес болып шықты.

Кіріс кедергісі  $R_{кір} \cong h_{11э} \approx 210 \text{ Ом}$ .

Кернеу бойынша күшейту коэффициенті

$$K_U \approx \frac{-h_{21э} \cdot R_K}{R_{вх}} \approx \frac{-18.5 \cdot 500}{210} = -44; \quad \text{дәлірек, } K_U = \frac{-17.5 \cdot 500}{210} = -41.5.$$

Қуат бойынша күшейту коэффициенті

$$K_P = |K_I \cdot K_U| = 17.5 \cdot 41.5 = 725.$$

### 3.7 Күшейткіш коллекторындағы кернеуді есептеу

2.2 суретте сұлбадағы күшейту коэффициенті  $\beta = 49$  транзистордың база тізбегінде бөлгіш қолданылады.

Егер  $R_1 = 100 \text{ кОм}, R_2 = 51 \text{ кОм}, R_K = 2 \text{ кОм}, R_э = 0,51 \text{ кОм}, E_K = 15 \text{ В}$  берілген болса,  $U_K$  кернеуін табу керек.

Шешімі:

а) 2.2, а суреттегі сұлбаны 2.2,б суретте көрсетілгендей түрге келтіреміз.

Мұндағы

$$E_э = E_K R_2 / (R_1 + R_2),$$

$$R_э = R_1 \parallel R_2 = R_1 R_2 / (R_1 + R_2);$$

б) база тоғын табамыз

$$I_э = E_э / (R_э + (\beta + 1) R_э);$$

мұндағы:

$$R_э = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 51 \cdot 100 / (51 + 100) \cdot 10^3 = 33,8 \text{ кОм};$$

$$E_э = E_K R_2 / (R_1 + R_2) = 15 \cdot 51 \cdot 10^3 / [(51 + 100) \cdot 10^3] = 5,066 \text{ В}.$$

Табылған шамаларды орнына қойғаннан кейін

$$I_э = 5,066 / (33,8 \cdot 10^3 + 50 \cdot 0,51 \cdot 10^3) = 0,085 \text{ мА};$$

в) транзистор базасындағы тұрақты кернеу

$$U_э = E_э - I_э R_э = 5,066 - 0,085 \cdot 33,8 = 2,193 \text{ В};$$

г) коллектор тоғын табамыз

$$I_K = \beta I_э + I_{к0}^* = 49 \cdot 0,085 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-6} (1 + 49) = 4,665 \text{ мА};$$

5) коллектордағы тұрақты кернеу

$$U_K = E_K - I_K R_K = 15 - 4,665 \cdot 2 = 5,67 \text{ В}.$$

### 3.8 Комбинациялық логикалық сұлбаны синтездеу

Осы есепті шешу үшін:

а) 3.1 ақиқаттық кестесінде берілгендей логикалық өрнекті дизъюнктивті қалыпты формада (ДҚФ) жазу қажет;

б) Карно картасын пайдаланып, логикалық өрнектің минимизациясын жазу керек;

в) ЖӘНЕ-ЕМЕС базисіне өрнекті келтіру керек;

г) ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементтерінде электрлік сұлбаны құру керек;

д) Сұлбаның кіріс және шығысында сигналдардың уақыттық диаграммаларын салу керек.

3.2 ақиқаттық кестесінде берілгендей, сұлба нұсқасының синтезін жасаймыз.

3.2 кесте

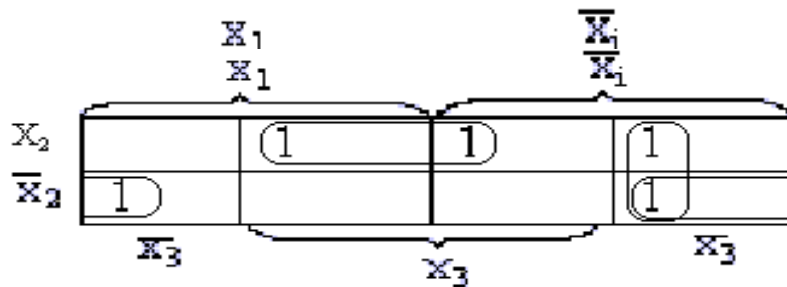
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{14}$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Берілген ақиқаттық кестесі бойынша ДҚФ логикалық өрнек мынадай болады:

$$Y_{14} = \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} + \overline{X_1} X_2 \overline{X_3} + \overline{X_1} X_2 X_3 + X_1 \overline{X_2} \overline{X_3} + X_1 X_2 X_3 .$$

Минимизацияны құрастыруды Карно картасының көмегімен жүзеге асырамыз (3.3 сурет).

Минтермдерге сәйкес торларды бірліктермен толтырамыз.



3.3 сурет

Көрші торларды контурларға топтаймыз, содан соң көрші торларды біріктіреміз. Минимумделген функцияларды шығарып аламыз. Ол мына түрге келтіріледі:

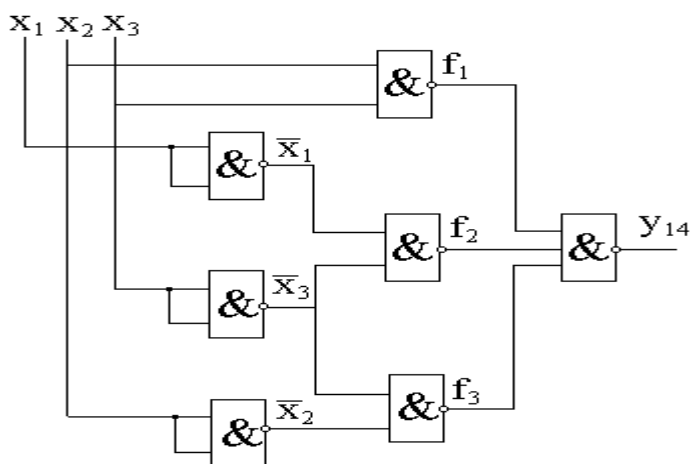
$$Y_{14} = X_2 X_3 + \overline{X_1} \overline{X_3} + \overline{X_2} \overline{X_3}. \quad (3.1)$$

(3.1) теңдеуінде көрсетілгендей әр минтерм екі көбейткіштен тұрады.

(3.1) теңдеуін де Морган теоремасы бойынша *ЖӘНЕ-ЕМЕС* базисіне түрлендіреміз

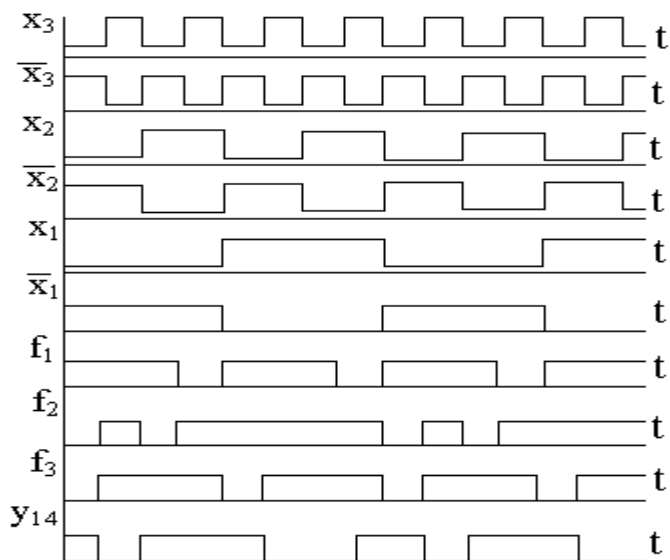
$$Y_{14} = \overline{\overline{X_2 X_3 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_3} + X_2 \cdot \overline{X_3}}} = \overline{\overline{X_2 X_3} \cdot \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_3}} \cdot \overline{\overline{X_2} \cdot \overline{X_3}}}. \quad (3.2)$$

(3.2) теңдеуі бойынша құрылған принципалдық сұлба 3.4 суретте көрсетілген.



3.4 сурет

3.4 суреттегі сұлба үшін сигналдардың уақыттық диаграммаларының көрінісі 3.5 суретте келтірілген.



3.5 сурет

## Әдебиеттер тізімі

1. Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006. – 79 с.
2. Жолшараева Т.М. Электроника. Методические указания к выполнению лабораторных работ. - Алматы: АИЭС, 2005. – 45 с.
3. Нефедов А.В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры: Справочное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 600 с.
4. Перельман Б.Л. Полупроводниковые приборы. Справочник. – М.: «СОЛОН», «МИКРОТЕХ», 1996. – 176 с.
5. Ұ.Қ.Дегембаева, Б.М.Шайхин. Микроэлектроника. Шалаөткізгішті аспаптар мен интегралдық микросұлбалар: Оқу құралы - АЭЖБУ. Алматы, 2009. – 79 б.
6. Т.М.Жолшараева, Ұ.Қ.Дегембаева. Схемотехника: Оқу құралы. - АЭЖБУ. Алматы, 2011. – 80 б.

## Мазмұны

1 ЕГЖ –ні орындауға арналған жалпы әдістемелік нұсқаулар	3
2 Есептеу-графикалық жұмыстарға тапсырма	4
2.1 №1 ЕГЖ-ға тапсырма	4
2.2 №2 ЕГЖ-ға тапсырма	7
2.3 №3 ЕГЖ-ға тапсырма	10
3 Есептеу-графикалық жұмыстың есептерін шешудің мысалдары	11
3.1 p-n өткеліндегі потенциалдардың түйісу айырымы	11
3.2 Диодтың сипаттамалық кедергілері	11
3.3 Түзеткіштік диодтың параметрлері	12
3.4 Кернеудің параметрлік стабилизаторы	12
3.5 Стабилитронның тұрақтану кернеуіне температураның ықпалы	13
3.6 Күшейткіштің графо-аналитикалық есептеуі	13
3.7 Күшейткіш коллекторындағы кернеуді есептеу	18
3.8 Комбинациялық логикалық сұлбаны синтездеу	19
Әдебиеттер тізімі	21

Тамара Маруповна Жолшараева  
Нагима Сапаралиевна Бакирова

## ЭЛЕКТРОНИКА

5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептеу-графикалық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редакторы Ж.Н. Изтелеуова  
Стандарт бойынша маман Н.Қ. Молдабекова

Басуға қол қойылды \_\_\_\_\_  
Тираж 50 дана  
Көлемі 1,4, оқу. – бас. әд.

Пішіні 60x84/16  
№1 типографиялық қағаз  
Тапсырыс Бағасы 700 тг.

«Алматы энергетика және байланыс университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамының  
көшірме-көбейткіш бюросы  
050013, Алматы қ., Байтұрсынов көш., 126