



**Коммерциялық емес
акционерлік
қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электроника
кафедрасы

ӨНЕРКӘСІПТІК ЭЛЕКТРОНИКА

5B071800 – Электр энергетикасы мамандығы студенттері үшін
есептеу-сызбалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік
нұсқаулықтар

Алматы 2016

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: С.Б. Абдрешова, Г.Н. Абдрешова. Өнеркәсіптік электроника. 5В071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін есептеу-сызбалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. – Алматы: АЭЖБУ, 2016. – б.

Әдістемелік нұсқаулықтарда «Өнеркәсіптік электроника» курсы бойынша есептеу-сызбалық жұмыстарға тапсырмалар қарастырылады. есептеу-сызбалық жұмыстардың, негізгі электрондық компоненттердің жұмыс істеу принциптерін, негізгі сипаттамаларды түсіру әдістерімен ерекшеліктерін оқу бойынша, қысқаша мазмұны келтіріледі. Жұмыс және есептеме тапсырмалары келтірілген, сонымен қатар бақылау сұрақтарының тізімінде.

Әдістемелік нұсқау дәрістік материалдарды пысықтау мақсатында құрастырылды және «5В071800 – Электр энергетикасы» мамандығының студенттеріне арналған.

Әдеб.көр. б, кесте. 3, библиогр. – 5 атау.

Пікір жазған: КТ кафедрасының аға оқытушысы, т.ғ.к. Г.Д. Мусапирова

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2016 жылғы жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2016 ж.

1 ЕСЖ орындауға жалпы әдістемелік нұсқаулықтар

«Өнеркәсіптік электроника» пәні 5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттері үшін оқытылатын пән.

Курс бойынша дәрістер оқытылады, есептеу-сызбалық және зертханалық жұмыстар жүргізіледі. Есептеу-сызбалық жұмыстар (ЕСЖ) курсты оқытудағы негізгі компоненттердің бірі болып табылады.

«Өнеркәсіптік электроника» пәнінің мақсаты элементтік базаны, электрондық және микроэлектрондық құрылғылардың жұмыс істеу принципін, есептеу және жобалау әдістерін оқып үйрету болып табылады.

Пәнді оқу нәтижесінде студенттер диодтардың, транзисторлардың және интегралдық ықшамсұлбалардың негізгі сипаттамаларын, көрсеткіштерін білу керек. Сонымен қатар, негізгі аналогты құрылғыларды, комбинациялық және тізбекті логикалық схемалардың жұмыс істеу принциптерін меңгеру керек. ЕГЖ-ні орындау студенттерге элементтік базаны таңдау мен электрондық схемаларды есептеуді орындау кезінде теориялық білімдерін қолдануға мүмкіндік береді.

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

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

ЕГЖ-ты орындау кезінде:

- сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы екі цифрына сәйкес өзінің вариантын таңдауы керек;
- варианттың нөмірі, студенттің тобы, фамилиясы 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 Есептеме-сызба жұмыстарға арналған тапсырмалар

2.1 №1 есептеме-сызба жұмысқа тапсырма

№1 есеп

Донорлық қоспаның шоғыры N_d атом/см³ құрайды, ал акцепторлық қоспа – N_a атом/см³ (мәндері 2.1 кестеде берілген), жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдаушылардың меншікті шоғыры - n_i . Берілген температурада T (мәндері 2.2 кестеде берілген) p - n ауысу үшін потенциалдардың түйіспелік айырмасын табу керек.

2.1 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы саны										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N_d	$2 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{16}$	$7 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{15}$	
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 соңғысының алдындағы саны										
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

$T=300 K$ болғанда диодтың кері қанығу тогы I_0 тең (мәні 2.3 кестеде берілген). Жартылай өткізгіш диодтың тұрақты ток бойынша кедергісін және тура құлау кернеуі $U_{тыра}$ (мәні 2.4 кестеде берілген) болғанда оның дифференциалдық кедергісін анықтаңыз.

2.3 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы саны										
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 соңғысының алдындағы саны										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{тыра}, мВ$	150	180	200	150	100	250	150	200	140	150

№3 есеп

Жартылай өткізгіш диодтың тура тогы $I_{тура}$, тура құлау кернеуі $U_{тура}$ және температурасы берілген. Кернеу мәндері $U = U_1$ және $U = 0$ (мәндері 2.5, 2.6 кестелерінде берілген) болған кезде, диодтың кері қанығу тогын I_0 , дифференциалдық кедергісін $r_{диф}$ анықтаңыз.

2.5 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы саны										
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 соңғысының алдындағы саны										
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

Параметрлік кернеу тұрақтандырғышының сұлбасында жүктеме кедергісі $R_{ж}$ берілген. Стабилитронның көрсеткіштері: $U_{тұр}$ – тұрақтандыру кернеуі, $I_{тұр.макс}$ – тұрақтандырылған максимал ток, $I_{тұр.мин}$ – тұрақтандырылған минимал ток (мәндері 2.7 кестеде берілген). Кіріс кернеуі $U_{кір.мин.}$ нен $U_{кір.макс}$ дейінгі аралықта өзгереді (2.8 кесте). Тұрақтандырғыштың қосылу сұлбасын келтіріңіз, стабилитронның ВАС келтіріп, оған жүктеме сызығын тұрғызыңыз. Балластық кедергісін $R_б$ табыңыз. $U_{кір}$ кіріс кернеудің барлық өзгеріс аумағында тұрақтылық қамтамасыз етіле ме, соны анықтаңыз.

2.7 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы саны										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{ж}, k\Omega$	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
$I_{тұр.мин.}, mA$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5
$I_{тұр.макс.}, mA$	2,5	1,5	3	3,2	3,1	2,5	3	2,8	2,9	3,2

2.8 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғысының алдындағы саны										
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

Стабилитронның тұрақтандыру кернеуінің температуралық коэффициенті $\alpha_n, \%/^{\circ}\text{C}$, $20^{\circ}\text{C} - U_{\text{тұрр.}}$ В (2.9 кестені қараңыз) тұрақтандыру кернеуі берілген. Егер температурасы $T,^{\circ}\text{C}$ (2.10 кестені қараңыз) болса, оның тұрақтандыру кернеуі қандай болады.

2.9 кесте

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

2.10 кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғысының алдындағы саны										
Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T,^{\circ}\text{C}$	40	50	60	70	50	70	60	60	60	70

3.1 p-n ауысудың түйіспелік потенциалдар айырымы

Температурасы $T = 300 \text{ K}$ болғанда p-n ауысудың түйіспелік потенциалдар айырымын φ_k табыңыз, егер донорлық қоспаның шоғыры $N_d = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ атом/см}^3$ құраса, акцепторлық қоспа – $N_a = 2 \cdot 10^{17} \text{ атом/см}^3$, жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдаушылардың меншікті шоғыры - $n_i = 3 \cdot 10^{14}$.

Есептің шығарылуы.

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

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

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

3.2 Диодтың сипаттамалық кедергілері

Жартылай өткізгіш диодтың тұрақты ток бойынша кедергісін R_0 және тура құлау кернеуі $U_{\text{тура}}$ (мәні 2.4 кестеде берілген) болғанда оның дифференциалдық кедергісін анықтаңыз.

$T=300 \text{ K}$ болғанда диодтың кері қанығу тогы $I_0 = 2 \text{ мкА}$ тең (мәні 2.3 кестеде берілген).

Есептің шығарылуы.

Тура құлау кернеуі $U=0,2 \text{ В}$ тең болғанда, диодтың түзетілген тура тогын келесі формула бойынша табамыз

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_q}{kT}} - 1 \right) = 2 \cdot 10^{-6} \left(e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2}{1,38 \cdot 10^{-21} \cdot 300}} - 1 \right) = 4,547 \text{ мА}$$

Диодтың тұрақты ток бойынша кедергісі

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

Дифференциалдық кедергісін анықтаймыз $r_{\text{диф}}$

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

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

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

2.2 №2 есептеу – графикалық жұмысқа тапсырма

№1 есеп

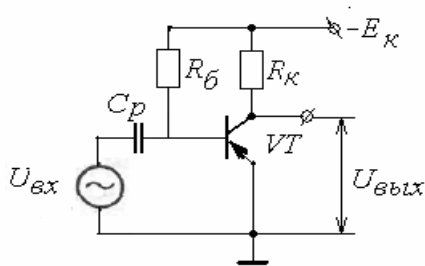


Рисунок 2.1

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).

Күшейткіштің графоаналитикалық есептеуін жүргізу керек.

Ол үшін қажет етіледі:

- 1) P_{Kmax} сызығын тұрғызу;
- 2) шығыс сипаттамасы бойынша табу керек:
- 3) $I_{к0}$; коллектор тогының тұрақты құраушыларын;
- 4) $U_{кэ0}$ коллектор-эмиттер кернеуінің тұрақты құраушыларын;
- 5) I_{mk} коллектор тогының айнымалы құраушыларының амплитудасын;
- 6) шығыс қуатын $P_{шығ}$;
- 7) $U_{mR} = U_{mkэ}$ шығыс кернеуінің амплитудасын;
- 8) K_I ток бойынша күшейту коэффициенті;
- 9) P_0 коллекторлық тізбектегі толық тұтынатын қуаты;
- 10) коллекторлық тізбектің ПӘК η .

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

в) кіріс сипаттамаларының көмегімен мыналарды анықтау керек:

кіріс сипаттамалардың көмегімен анықтаңыз:

- $U_{\delta\omega 0}$ ығысу кернеуін;
- $U_{m\delta\omega}$ кіріс сигналдың амплитудасын;
- P_{kip} кіріс қуатын;
- K_U кернеу бойынша және K_P қуат бойынша күшейту коэффициенті;
- R_{kip} каскадтың кіріс кедергісі;
- R_{δ} резистор кедергісі;
- C_a конденсатордың алшақтатқыш сыйымдылығы;
- күшейткіштің жұмыс нүктесі үшін келесі көрсеткіштерді табыңыз

$h_{21\omega}$, $h_{22\omega}$, $R_{kip} = 1/h_{22\omega}$, $h_{11\omega}$, және K_I , K_U , K_P , R_{kip} шамаларын аналитикалық жолмен есептеңіз.

2.11 кесте

Сынақ кітапшасының номерінің соңғы саны					
Нұсқа №	1	2	3	4	5
VT	<i>KT317A</i>	<i>KT313A</i>	<i>KT361B</i>	<i>KT120A</i>	<i>ГТ402Д</i>
E_K, B	4	7	25	1	6
$I_{\delta\omega}, mA$	0,006	0,5	0,2	0,4	6
$I_{m\delta}, mA$	0,002	0,2	0,1	0,2	2
R_K, kOM	10	0,1	0,5	0,05	0,02
P_{kmax}, Bm	0.01	0.3	0,9	0,012	2,5

2.11 кестенің жалғасы

Сынақ кітапшасының номерінің соңғы саны					
Нұсқа №	6	7	8	9	0
VT	<i>KT501A</i>	<i>KT601A</i>	<i>KT803A</i>	<i>ГТ703А</i>	<i>KT902A</i>
E_K, B	30	60	50	15	30
$I_{\delta\omega}, mA$	0,05	0,15	80	400	24
$I_{m\delta}, mA$	0,075	0,075	20	100	8
R_K, kOM	2,5	1,5	0,0125	0,002	0,012
P_{kmax}, Bm	0,42	3,5	150	100	60

2.12 - кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры					
Нұсқа №	6	7	8	9	0
$f_m, Гц$	100	120	150	100	150
$f_{\omega}, кГц$	12	10	18	9	7

2.12 кестенің жалғасы

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңғы цифры										
Нұсқа №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
β .	49	30	29	35	45	20	38	25	29	35
E_K, B	15	10	12	10	15	10	12	15	10	12

№2 есеп

2.2,а суретте көрсетілген схемада тоқ бойынша беріліс коэффициенті β 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).

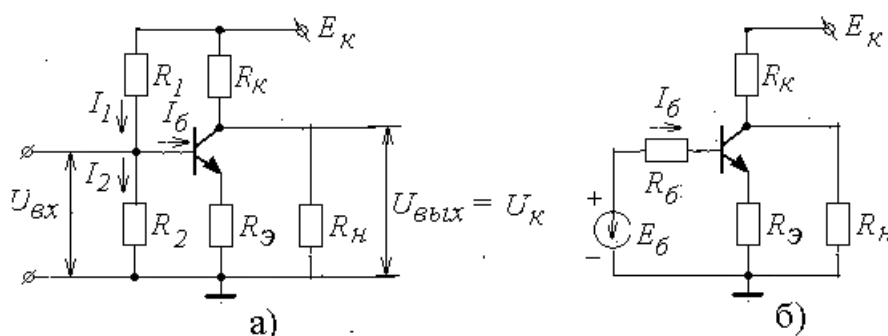


Рисунок 2.2

2.13 - кесте

Сынақ кітапшасы нөмірінің соңынан екінші цифры											
Нұсқа №	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, кОм$	100	33	75	150	33	150	33	75	75	150	100
$R_2, кОм$	51	15	33	51	10	51	10	33	33	51	33
$R_K, кОм$	2	1,5	1	2	2	2	1	2	2	1	1
$R_Э, кОм$	0.51	0,2	0,33	0,1	0,2	0,1	0,33	0,2	0,1	0,33	0,33

2.14 - 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

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/см³, акцепторлық қоспада $N_a = 2 \cdot 10^{17}$ атом/см³, 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 φ_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 $U_{\text{тура}} = 0,2 \text{ В}$ тура кернеу түскендегі дифференциалдық кедергісін анықтау керек.

Диодтың кері тоғы $T=300 \text{ К}$ кезінде $I_0 = 2 \text{ мкА}$ тең.

Есептің шешімі.

$U=0,2 \text{ В}$ тура кернеу кезіндегі диодтың тоғын 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 кедергіні $r_{\text{диф}}$

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

$I \gg I_0$ 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 $U_{\text{тура}} = 0,2 \text{ В}$ және температура $T = 313 \text{ К}$ кезінде жартылай өткізгішті диодтың тура тоғы $I_{\text{тура}} = 0,5 \text{ А}$.

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

Есептің шешімі:

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

Вольт-амперлік сипаттаманың $I = I_0(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1)$ формуласынан

$$\text{алатынымыз } I_0 = \frac{I}{e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1} = 7,473 \cdot 10^{-6} \text{ А};$$

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

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

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

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

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

3.4 Кернеудің параметрлік стабилизаторы

Кернеудің параметрлік стабилизатор сұлбасындағы жүктеме кедергісі $R_{\text{жс}}=1 \text{ кОм}$. Стабилитронның берілген мәліметтері: стабилизация кернеуі $U_{\text{ст}}=6\text{В}$; стабилизацияның максимал тоғы $I_{\text{ст макс.}}=3 \text{ мА}$; стабилизацияның минимал тоғы $I_{\text{ст мин}}=0,6 \text{ мА}$.

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

Есептің шешімі.

$$R_{\text{б}} = \frac{(U_{\text{вх ср}} - U_{\text{ст}})}{(I_{\text{ст ср}} + I_{\text{н}})}$$

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

Стабилитрон арқылы өтетін орташа ток

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

$$\text{Жүктеме арқылы өтетін ток } I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ст}}}{R_{\text{н}}} = \frac{6}{1000} = 6 \text{ мА}.$$

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

$U_{\text{кір}}$ өзгерісі үшін стабилизация мына шектерде болады:

$U_{\text{кір мин}}=U_{\text{ст}}+(I_{\text{ст мин}}+I_{\text{жс}})R_{\text{б}}=9,2 \text{ В}$ - тен $U_{\text{кір макс}}=U_{\text{ст}}+(I_{\text{ст макс}}+I_{\text{жс}})R_{\text{б}}=14 \text{ В}$ -ке дейін.

Сонымен, қорек көзі кернеуінің барлық диапазонында стабилизация 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°C –ге тең температурада тұрақтану кернеуі – $U_{cm} = 8 \text{ В}$.

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

Есептің шешімі.

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

$$T_0\text{-ге тең температурада } \Delta U_{cm} = U_{cm1} - U_{cm} ;$$

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

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

$$T=60^{\circ}\text{C-ге тең температурада } U_{cm1} = 8 + 0,032 = 8,032 \text{ В}.$$

3.6 Күшейткіштің графоаналитикалық есептеуі

VT транзисторы күшейткіштік каскадқа ОЭ сұлбасына сәйкес қосылған (2.1- сурет). Каскад бір қорек көзінен $E_k = -10 \text{ В}$ -ке тең кернеумен қоректенеді. База тізбегіне ығысуды беру үшін R_b резисторы қолданылады. Тыныштық күйде база тоғында ығысу орын алады.

База тоғының тұрақты құраушысы $I_{b0} = 0,3 \text{ мА}$, база тоғының айнымалы құраушысының амплитудасы $I_{mб} = 0,2 \text{ мА}$, жүктеменің кедергісі $R_k = 0,5 \text{ кОм}$, ал коллектормен сейілетін қуаттың ең үлкен шамасы $P_{Kmax} = 150 \text{ мВт}$. Күшейтілетін тербелістің жиілік диапазоны $f_m = 80 \text{ Гц}$, $f_{ж} = 5 \text{ кГц}$.

Алдыға қойылатын мақсаттар:

- күшейткіштің графоаналитикалық есебін орындау;
- тыныштық күй режиміндегі коллекторда бөлінетін P_{KO} қуатының қуаттың ең үлкен мүмкін мәнінен (P_{Kmax}) аспау шартын тексеру керек;
- 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:

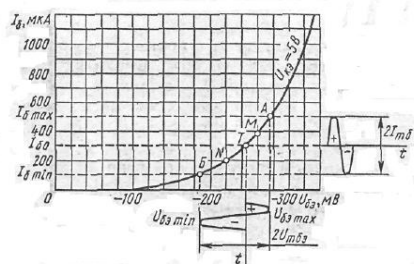
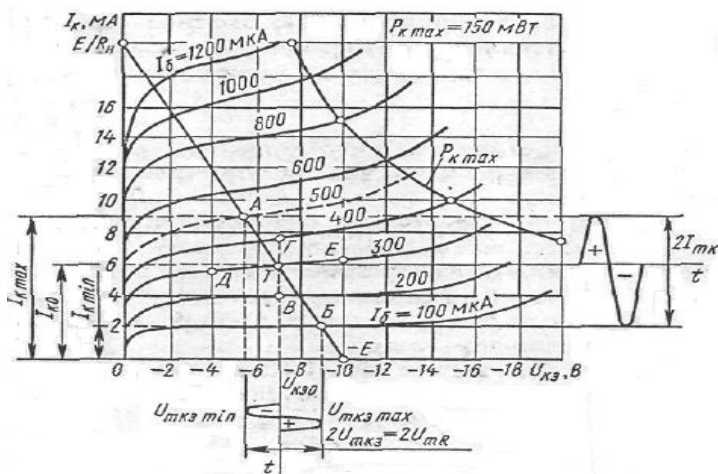


Рисунок 3.1

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).



Рисуніок 3.2

3.1 - кесте

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

Осы нүктелер арқылы 3.2-суреттегі P_{Kmax} сызығын жүргіземіз;

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

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

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

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

$$I_{к0} = 6 мА, \quad U_{кЭ0} = -7 В$$

болады.

Коллектор тоғы айнымалы құраушысының амплитудасы

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

Жүктемедегі айнымалы кернеу амплитудасы

$$U_{тR} = U_{ткЭ} = I_{тк} R_k, \quad U_{тR} = U_{ткЭ} = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 1,75 В.$$

Тоқ бойынша күшейту коэффициенті

$$K_I = I_{тк} / I_{б0}, \quad K_I = 3,5 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 10^{-3} = 17,5.$$

Шығыс қуаты $P_{\text{вых}} = 0,5 I_{\text{мк}} U_{\text{мR}}$,

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

Коллектор тізбегіндегі толық пайдаланылатын қуат

$$P_0 = E_{\text{к}} I_{\text{к0}}, \quad P_0 = 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 60 \text{ мВт}.$$

Коллектор тізбегіндегі пайдалы әсер еселігі

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

Коллектор тоғы тұрақты құраушысының коллекторда сейілетін қуаты:

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

$P_{\text{K0}} < P_{\text{Kmax}}$ - 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, $U_{\text{КЭ}} = -5 \text{ В}$ кезіндегі сипаттаманы қабылдауға болады. Графиктен $|U_{\text{бэ0}}| = 0,25 \text{ В}$ екенін табамыз.

Кіріс кернеудің амплитудасы

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

Кернеу бойынша күшейту коэффициентінің модулі

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

Қуат бойынша күшейту коэффициенті

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

Кіріс қуаты

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

Кіріс кедергісі

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

Резистордың кедергісі

$$R_{\text{б}} = \frac{E - |U_{\text{бэ0}}|}{I_{\text{б0}}}, \quad R_{\text{б}} = (10 - 0,25) / 0,3 \cdot 10^{-3} = 32,5 \text{ кОм}.$$

Бөлгіш конденсатордың сыйымдылығы C_p мына шартпен анықталады

$$\frac{1}{\omega_n \cdot C_p} = \frac{R_{\text{вх}}}{10},$$

мұндағы ω_n – төменгі жұмыс жиілігі;

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

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

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

3.2- суреттегі V және I нүктелері бойынша анықтаймыз

$$h_{21э} = \frac{3.7 \cdot 10^{-3}}{0.2 \cdot 10^{-3}} = 18,5.$$

D және E нүктелері бойынша анықтаймыз

$$h_{22э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_{\bar{\sigma}}=const} \quad h_{22э} = \frac{0.7 \cdot 10^{-3}}{6} = 117 \text{ мкСм.}$$

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

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

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. Тоқ бойынша күшейту коэффициенті $K_I \approx h_{21э} = 18.5$; дәлірек алғанда

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

нәтижесіне сәйкес болып шықты.

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

Кернеу бойынша күшейту коэффициенті

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

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 $R_1 = 100 \text{ кОм}, R_2 = 51 \text{ кОм}, R_K = 2 \text{ кОм}, R_3 = 0,51 \text{ кОм}, E_K = 15 \text{ В}$ берілген болса, U_K кернеуін табу керек.

Шешімі:

а) сұлбаны (2.2, а сурет) 2.2,б суретте көрсетілгендей түрге келтіреміз.

Мұндағы

$$E_{\bar{\sigma}} = E_K R_2 / (R_1 + R_2),$$

$$R_{\bar{\sigma}} = R_1 \parallel R_2 = R_1 R_2 / (R_1 + R_2);$$

б) база тоғын табамыз

$$I_{\bar{\sigma}} = E_{\bar{\sigma}} / (R_{\bar{\sigma}} + (\beta + 1) R_3),$$

мұндағы:

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

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

Табылған шамаларды орнына қойғаннан кейін

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

в) транзистор базасындағы тұрақты кернеу

$$U_{\sigma} = E_{\sigma} - I_{\sigma} R_{\sigma} = 5,066 - 0,085 \cdot 33,8 = 2,193 \text{ В};$$

г) коллектор тоғын табамыз

$$I_K = \beta I_{\sigma} + I_{K0}^* = 49 \cdot 0,085 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-6} (1 + 49) = 4,665 \text{ мА};$$

5) коллектордағы тұрақты кернеу

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

Әдебиеттер тізімі

- 1) Амиров Ж. Х. Электротехника және электроника: Оқу құралы – АЭЖБИ, Алматы, 2005. – 87 б.
- 2) Әміров Ж. Қ. Электроника негіздері: Оқу құралы – АЭЖБИ, Алматы, 2010. – 60 б.
- 3) Нұрманов М.Ш., Құрманов А.Т., Жанқозин Ә.Ж. Электроника және микросхемотехника: Оқулық – ҚР ішкі істер министрлігінің академиясы, Алматы, 2000. – 235 б.
- 4) Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Шала өткізгішті аспаптар: Оқу құралы/Т.М. Жолшараева, З.М. Рахимжанова – ҚР БжҒМ, КЕАҚ АЭЖБИ, –2009. – 82б.
- 5) Схемотехника: Оқу құралы/А.Т. Ибраев, Т.М. Жолшараева, А.Б. Нусибалиева; ҚР БжҒМ, КЕАҚ АЭЖБУ. – Алматы: АЭЖБУ, 2013. – 78б.
- 6) Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб.пособие – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 704 с.
- 7) Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Радио и связь, 2005. – 320 с.
- 8) Нефедов А.В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры: Справочное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 600 с.
- 9) Абдрешова С.Б. Аналогты құрылғылардың сұлбатехникасы мен элементтері. Зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әістемелік нұсқаулар. 5В071600 – Приборлар жасау мамандығының студенттеріне арналған – Алматы: АЭЖБУ, 2014. – 31 б.
- 10) Жолшараева Т.М., Абдрешова С.Б. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 5В071600 – Приборостроение – Алматы: АУЭС, 2014. – 51 с. (на русском и казахском языке).
- 11) Жолшараева Т.М., Абдрешова С.Б. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов очной формы обучения специальности 5В071600 – Приборостроение – Алматы: АУЭС, 2014. – 41 с. (на русском и казахском языке).
- 12) Электрондық құрылғылар мен ақпараттық жүйелерді электрмен қоректендіру: 5В070300 – Ақпараттық жүйелер мамандығының барлық оқу түрінің студенттеріне арналған зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік нұсқаулар, КЕАҚ АЭЖБИ – С.Б.Абдрешова, А.Б.Нусибалиева.- Алматы: АЭЖБУ, 2011. – 30б.
- 13) Расчет электронных схем: Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов / Г.И. Изъюрова [и др.].- М.: Высш.шк., 1987. – 336с.
- 14) Гольденберг, Л.М. Машинные расчеты электронных схем. ч.1. Схемы алгоритмов линейные задачи оптимизации / Л.М. Гольденберг.- Л., 1976. – 56с.

Мазмұны

1 ЕСЖ орындауға жалпы әдістемелік нұсқаулықтар.....	3
2 Есептеме-сызба жұмыстарға арналған тапсырмалар.....	4
2.1 №1 ЕСЖ-ға тапсырма.....	4
2.2 №2 ЕСЖ-ға тапсырма.....	7
3 ЕСЖ есептерін шешудің мысалдары.....	9
3.1 р-п өткеліндегі потенциалдардың түйісу айырымы.....	9
3.2 Диодтың сипаттамалық кедергілері.....	10
3.3 Түзеткіштік диодтың параметрлері.....	10
3.4 Кернеудің параметрлік стабилизаторы.....	11
3.5 Стабилитронның тұрақтану кернеуіне температураның ықпалы....	12
3.6 Күшейткіштің графо-аналитикалық есептеуі.....	12
3.7 Күшейткіш коллекторындағы кернеуді есептеу.....	15
Әдебиеттер тізімі.....	17

Самал Бексултановна Абдрешова
Гульмира Нурланкызы Абдрешова

ӨНЕРКӘСІПТІК ЭЛЕКТРОНИКА

5B071800 – Электр энергетикасы мамандығы студенттері үшін
есептеу-сызбалық жұмыстарды орындауға арналған
әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Ж.Н. Изтелеуова

Стандарттау бойынша маман Н.Қ. Молдабекова

Басуға __. __. __. қол қойылды

Таралымы 75 дана.

Көлемі 1,0 есептік-баспа табақ

Пішіні 60x84 1/16

Баспаханалық қағаз № 1

Тапсырыс ____. Бағасы 500 тг.

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013 Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126

АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТИ

Электроника кафедрасы

БЕКІТЕМІН
Оқу-әдістемелік жұмыстар
бойынша
проректоры
_____ С.В. Коньшин
« ____ » _____ 2016 ж.

ӨНЕРКӘСІПТІК ЭЛЕКТРОНИКА

5B071800 – Электр энергетикасы мамандығы студенттері үшін
есептеу-сызбалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік
нұсқаулықтар

КЕЛІСІЛДІ
ОӘБ бастығы

_____ Р.Р. Мухамеджанова

« ____ » _____ 2016 ж.

Әдістемемен қамтамасыз ету және
сараптау бойынша ЖУОӘК
төрағасы

_____ Б.К. Курпенов

« ____ » _____ 2016 ж.

Редактор

« ____ » _____ 2016 ж.

Стандарт бойынша маман

_____ Н.К. Молдабекова

« ____ » _____ 2016 ж.

Электроника кафедрасының
отырысында қарастырылып,
мақұлданды
№ 7 хаттама «_9_»_02_2016ж.
Кафедра менгер.

_____ А.А.Копесбаева
(Аты-жөні, қолы)

Құрастырушылар:

Абрешова С.Б. _____

Абрешова Г.Н. _____

Алматы 2016