

**№ 3 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС**  
**ХОЛЛ ҚОНДЫРҒЫСЫҢ ҚОЛДАНЫП ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗЕТІН**  
**МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**  
**(Ван-дер-Пау әдісі)**

**Жұмыс мақсаты:** Ван-дер-Пау әдісі бойынша жартылай өткізгіштердің меншікті кедергесін, негізгі заряд тасушылардың концентрациясын және холлдық қозғалғыштығын анықтау.

**Жұмыста қолданылатын жабдықтар:**

1. P-348 потенциометр.
2. ПЗ6-1 типті тұрақты токтың көзі.
3. МСР-63 кедергілер магазині.
4. М2020 тілді қондырғы.
5. Азықтану көзі УИП-1 (600 В; 0,6 А).
6. Холл датчигі ДХГ-120.

**ҚЫСҚАША ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ**

Холл эффектісі

Холл эффектісі үлгіге бір бірімен қиылысатын электрлік және магниттік өрістер әсер еткенде холлдық потенциалдардың айырмашылығы деп аталатын жағдайдан пайда болады.

Егер электр өрісі (E) әсерінен пайда болатын қозғалатын заряд тасушының ығысу жылдамдығы ( $V_d$ ) үлгі бойынша бағытталса, ал магнит индукцияның векторы (B)  $V_d$ -ге перпендикуляр болса, онда ол Лоренц күші әсерінен  $F_L = e[V_d * B]$  бастапқы бағытынан қырының біреуіне ауысады. Нәтижесінде үлгінің ішінде көлденең электр өрісі пайда болады. Бұл өріс онымен байланысты Лоренц күшіне тең болғанша өсе береді. Онда

$$e E_z + e [V_d \cdot B]_z = 0 \quad E_z = V_x \cdot B_y \quad (1)$$

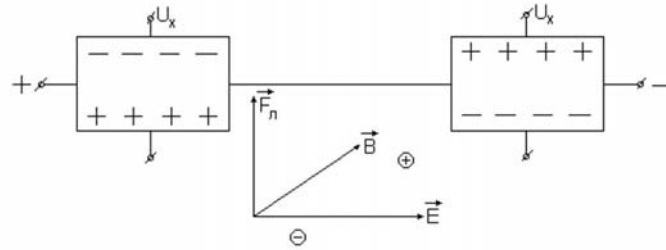
Үлгідегі ток тығыздығы  $j_x = env_x$  болғандықтан, (1.1.) берілуді мына түрде жазуға болады:

$$E_z = (1/en) j_x \cdot B_y = R [j \cdot B]_z \quad (2)$$

мұнда  $R = 1/en$  (3) - Холл коэффициенті.

Лоренц күші әсерінен заряд тасушылар өздерінің таңбаларына тәуелсіз бір бағытқа ауысады. Сондықтан Холлдың электр қозғалушы күшінің (Э.Қ.К) полярлығы үлгінің өткізгіштік типіне тәуелді (1 сур. қараныз).

*n*- және *p*-типті жартылай өткізгіштерде өтетін Холл эффектісі.



1-ші сурет.

Практикада  $E_z$  және  $j_x$  анықталмайды, ал Холл Э.Қ.К. және үлгімен өтетін ток  $J$  анықталады. Сондықтан (1.2.) формуланы қолайлы түрде жазуға болады

$$U_x = R (J_x B_x) / d \quad \text{немесе} \quad R = (U_x d) / J_x B_y, \quad (4)$$

мұнда  $d$ - магнит өрісі бағытында алынған үлгінің өлшемі.

Расында келтірілген Холл тұрақтысының элементар қорытындысы дәл емес. Больцманның кинетикалық тепе-теңдігіне негізделіп Холл эффектісін одан дәл қарастырғанда Холл коэффициенті заряд тасушылардың шашырау механизімін  $g$  константа арқылы есепке алу керектігін көрсетеді. Онда  $R = g/en$ .  $g$  шамасы холл-фактор деп аталады және былайша анықталады  $g = \mu_{n1}/\mu_n$ , мұнда  $\mu_{n1}$  - холдық қозғалғыштығы,  $\mu_n$  -өткізгіштігінің қозғалғыштығы. Акустикалық фондарда шашырау кезінде ковалент кристалдар үшін  $g = 3\pi/8$ . Қоспа иондарда шашырау кезінде  $g = 315\pi/512 = 1,93$ , ал бейтарап қоспаларда  $g=1$ . Аралас өткізгіштік үшін Холл тұрақтысы жалпы жағдайда тек қана қозғалғыштықтардан және екі түрлі заряд тасушылардың концентрацияларынан тәуелді болмайды, онымен бірге магнит өрісінің шамасына тәуелді. Өлсіз өрістер жағдайында, басқаша айтқанда мынадай шартта

$$B \ll \max \{ 1/\mu_e, \mu_p \}. \quad (5)$$

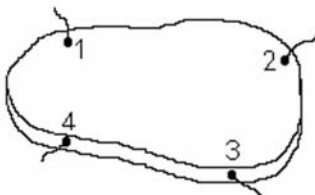
Холл тұрақтысы мына берілумен анықталады

$$R = g/e (\mu_e^2 n_p - \mu_e^2 n_e) / (\mu_p n_p + \mu_e n_e)^2. \quad (6)$$

### Ван-дер-Пау әдісі

Ван-дер-Пау жартылай өткізгіштердің меншікті кедергісі мен Холл коэффициентін кез келген контурлы жұқа пластиналарда немесе қабаттарда анықтау әдісін берген. Онда түйіспелер үлгі периметрі бойынша орналыстырылады (2 сурет).

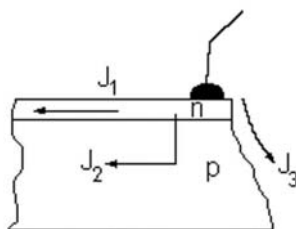
Ван-дер-Пау әдісі бойынша жұқа пластинада түйіспелердің орналасуы



2-ші сурет.

Жиі жағдайда төсеніш-жартылай өткізгішті қабат қос қабатты құрамы болып табылатын үлгілерде өткізіледі. Мұндай жағдайда нақты нәтижелерді алу үшін қабаттың кедергісі төсеніштің кедергісінен өте көп кем болу керек. Егер төсеніш изолятордан немесе компенсацияланған жартылай өткізгіштіктен жасалса, ондай жағдайдың орындалуы қыйын емес. Егер де өлшемдер  $p$ - $n$ -ауысуы бар үлгілерде өткізілсе, онда  $p$ - $n$ -ауысумен өтетін токтың  $J_2$  және беттік токтың  $J_3$  шамаларын (3. сур.) азайтуға тырысқан жөн. Бұл екі токтардың қосындысы өлшенетін токтын  $J_1$  шамасынан 5%-тен аспау керек.

$p$ - $n$ - ауысуы бар холдық үлгідегі токтардың үлестірілуі



3-ші сурет.

Ван-дер-Пау конфигурациясы кезінде қабаттық Холлдың коэффициентін магнит өрісін үлгісінің жазықтығына перпендикуляр қосқанда  $J_{24}$  токтың бағытына перпендикуляр  $V_{13}$  кедергінің өзгеруімен табылады.  $R_s$  коэффициентті мына формуламен есептейді:

$$R_s = 10^8 \cdot (V_x d) / J_B . \quad (7)$$

Қабаттық меншікті кедергісі  $\rho_s$  симметриялық конфигурация жағдайында басқа екі түйіспенің арасында ток  $J_{34}$  болғанда екі көршілес түйіспелердің арасындағы потенциал айырмашылығымен  $V_{12}$  табылады

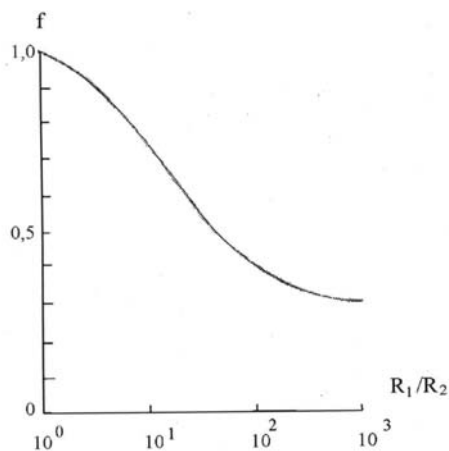
$$\rho_s = (\pi/\ln 2) \cdot (V_{12}/J_{34}) . \quad (8)$$

Егер электрод жүйесі симметриялы болмаса, онда  $\rho$ -ны анықтағанда геометриясына түзетуін кіргізу керек. Онда

$$\rho_s = (\pi h/2 \ln 2) \cdot (R_1 + R_2) f(R_1/R_2), \quad (9)$$

мұнда  $R_1 = V_{12}/J_{34}$ ,  $R_2 = V_{14}/J_{23}$ , ал  $f(R_1/R_2)$  - түзеткіш функция немесе  $f$ - фактор (4 сурет).

$f(R_1/R_2)$  түзеткіш функцияның графигі



4-ші сурет.

Егер үлгідегі түйіспелер пластинкалы пышақ тәрізді болып жасалса, және үлгі қырының бетінің барлық қалыңдығы пластинаның бет жазығы перпендикуляр қысылып тұрса, (9) формуласы дұрыс болады. Егер де түйіспелер үлгінің жазық бетінің бір жағынан жасалса, онда олардың формасымен және пластинаның шетінен орналасу қашықтығына тәуелді қателік пайда болады.

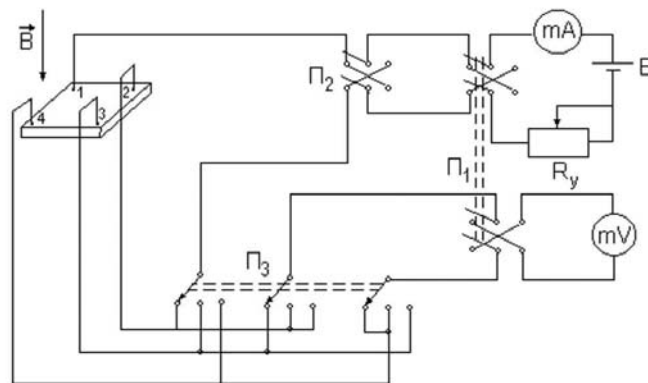
### ӨЛШЕУІШ ҚОНДЫРҒЫСЫ ЖӘНЕ ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Келтірілген қондырғыда электроөткізгіштік және Холл эффектісінің өлшеуі Ван-дер-Пау әдісі бойынша өткізіледі. Қондырғыда компенсациялық өлшеуіш жартылай автоматталған потенциометрдің Р348 негізінде жиналған сұлбесі қолданылған, және тұрақты магнит өріс және үлгімен өтетін тұрақты ток қолданылған.

Зерттелетін үлгі шала изоляцияланған төсеніштегі эпитаксиалды өсірілген жартылай өткізетін қабат болып табылады. Қабаттың бетінде периметр бойынша төрт нүктелі омдық

түйіспелер салынған, олардың көмегімен үлгіні өлшеу сұлбесіне қосады. Өлшеу қондырғысының сұлбесі 5 суретте келтірілген.

Электрөткізгіштікті және Холл эффектінің анықтайтын схемасы

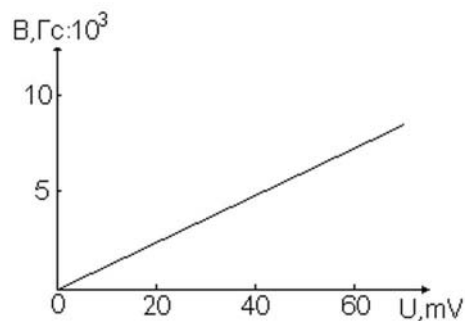


5-ші сурет.

Мұнда Б - ПЗ6-1 типті тұрақты токтың көзі,  $R_y$  - МСР-63 кедергілер магазині, оның көмегімен үлгімен өтетін токтың шамасы қойылады, токтың шамасы тілді М2020 қондырғымен өлшенеді.

$\Pi_1$  ауыстырып қосқыштың көмегімен потенциометрдің қосқыштарындағы керек полярлықты сақтап үлгіден өтетін токтың бағытын өзгертуге болады.  $\Pi_2$  ауыстырып қосқышпен үлгіден өтетін токтың бағытын өзгертеді, ал  $\Pi_3$  ауыстырып қосқышпен өлшеу түрін таңдауға қолданады. Магнит өрісі В УИП-1 (600 В; 0,6 А) көзден қоректендірілетін электромагниттен пайда болады. Электромагниттің саңылауындағы магнит өрісі В ДХГ-120 Холл датчигімен калибрленген график бойынша (6 сур.) осы қондырғыда өлшенеді.

Холл датчиктің градуирлеу графигі.  $I = 12 \text{ mA}$ .



6-ші сурет.

Есеп шығарғанда мына формулаларды қолдану қолайлы:

$$R_s = 10^8 (V_1 h / J B) \text{ [cm}^3 / \text{Kл}^{-1}] \quad (10)$$

$$\rho_s = [\pi r(V_1 + V_2)] / (2 \ln 2 J) * f(R_1/R_2) \quad [\text{Ом} \cdot \text{см}] \quad (11)$$

$$n = 1/eR_s \quad [\text{см}^{-3}] \quad (12)$$

$$\mu = R_s/\rho_s \quad [\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}], \quad (13)$$

мұнда  $V_x$ ,  $h$ ,  $J$ ,  $B$  - вольтпен, сантиметрмен, ампермен және гаусспен өлшенген.

### **ЖҰМЫС ТАПСЫРМАСЫ**

1. Өлшеулерді өткізуден бұрын ток көздерін және P348 фотокүшейткішті электр желісіне жалғап 30 минуттың ішінде қыздыру керек.
2. P348 потенциометрдің техникалық жазбасын оқып, инструкция бойынша қондырғыны жұмысқа дайындау керек.
3. Холл ЭҚК-шін өлшеу.
4. Жұмыс түрін таңдайтын ауыстырып қосқышты "X" күйіне қою.
5. МСР-63 кедергілер магазинінің көмегімен үлгімен өтетін токтың шамасын 1 мА-ге тең қою керек.
6. Потенциометрдің көмегімен магнит өрісінің және үлгімен өтетін токтың екі бағыттағы ЭҚК-тің шамаларын өлшеу. Өлшеу нәтижелерін таблицқа кіргізу.
7. Меншікті кедергіні өлшеу.
8. 5-ші пункт бойынша операцияларды жасау.
9. Жұмыс түрлерін ауыстырып қосқышты кезектеп  $I_1$  және  $I_2$  күйге ауыстырып әр жағдайдағы үлгі арқылы токтың екі бағытпен өтетін ЭҚК-тің шамаларын өлшеу.
10. 10-13 формулалар бойынша зерттелетін үлгінің параметрлерін есептеу.

**ТҮСІНДІРМЕ:** барлық өлшемдерді жүргізгенде үлгімен өтетін токтың бастапқы қойылған шамасына тең болуын байқау керек.

### ***Бақылау сұрақтары:***

1. Электр және магнит өрісі болған жағдайда заряд тасушылардың қозғалысын сипаттап береңіз.
2. Жартылай өткізгіштердегі заряд тасушылардың типтеріне тәуелді Холл құбылысын және ЭҚК-тің таңбасын түсіндіріп береніз.
3. Холл эффектінің зерттегенде қандай физикалық информацияны алуға болады?

4. Жартылай өткізгіштердің қандай физикалық қасиеттері Холлдың ЭҚК-нің шамасына өз ықпалын тигізеді?

5. Холлдық ЭҚК-тік датчиктердің көмегімен магнит өрісінің индукциясын қалай өлшеуге болады?

6. Неліктен холлдық электродтардың арасындағы потенциалдар айырмашылығын магнит өрісі қарама-қарсы бағытталған кезде екі рет өткізу керек?

#### ***ҚОЛДАНЫЛАТЫН ӘДЕБИЕТТЕР***

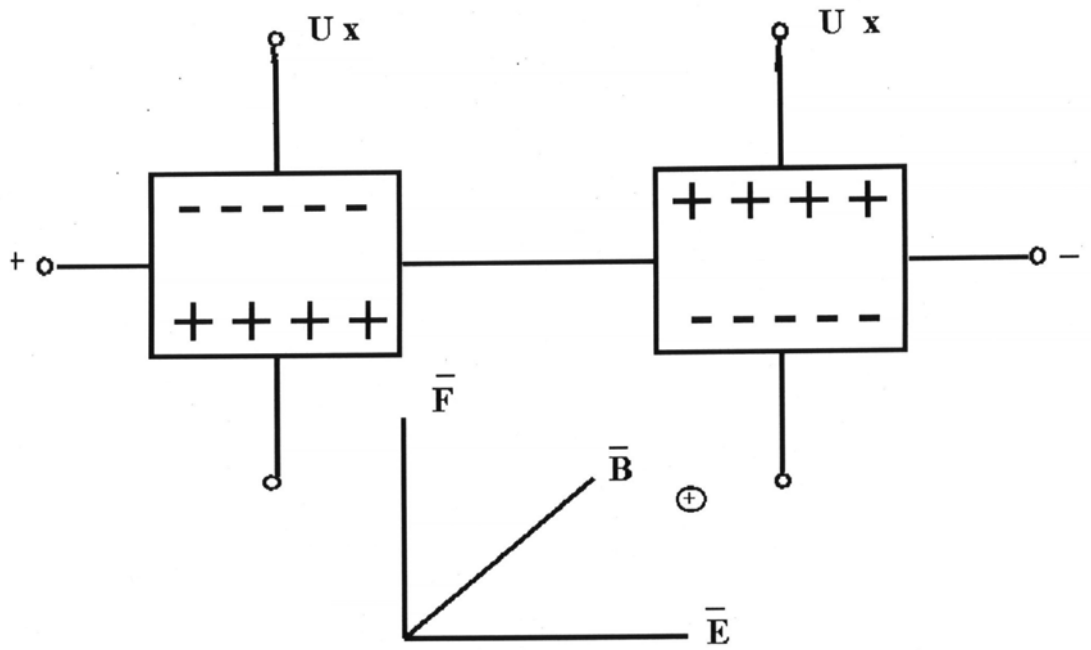
1. Стилбанс Л.С. Физика полупроводников. - М., 1967.

2. Жузе В.П. Техническое применение эффекта Холла, в книге "Полупроводники в науке и технике". - Изд. АН СССР, 1957.

3. Горбачёв В.В., Спицына Л.Г. Физика полупроводников и металлов. - Изд. "Металлургия", 1975.

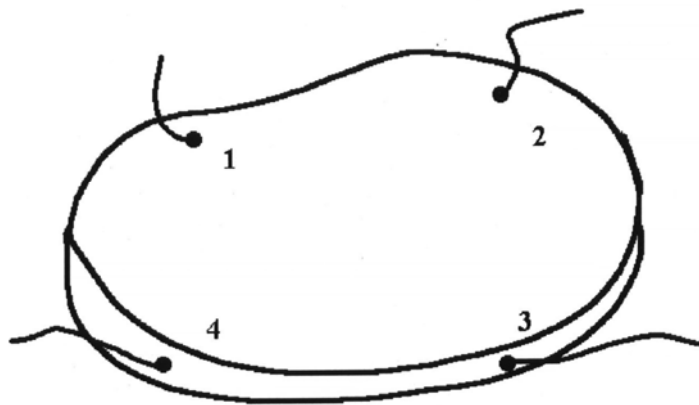
4. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. - "Высшая школа", 1968.

N- және р-типті жартылай өткізгіштерде өтетін Холл эффектісі.



1-ші сурет.

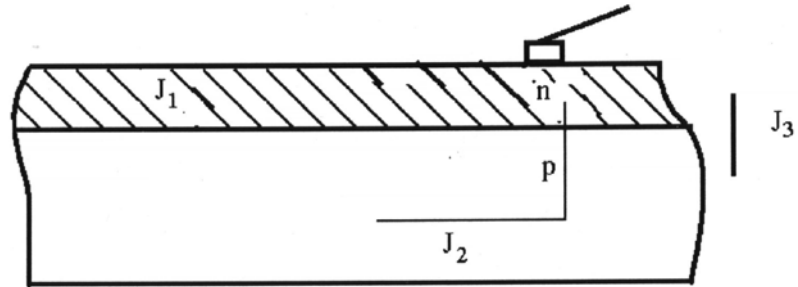
Ван-дер-Пау әдісі бойынша жұқа пластинада түйіспелердің орналасуы



2-ші сурет.

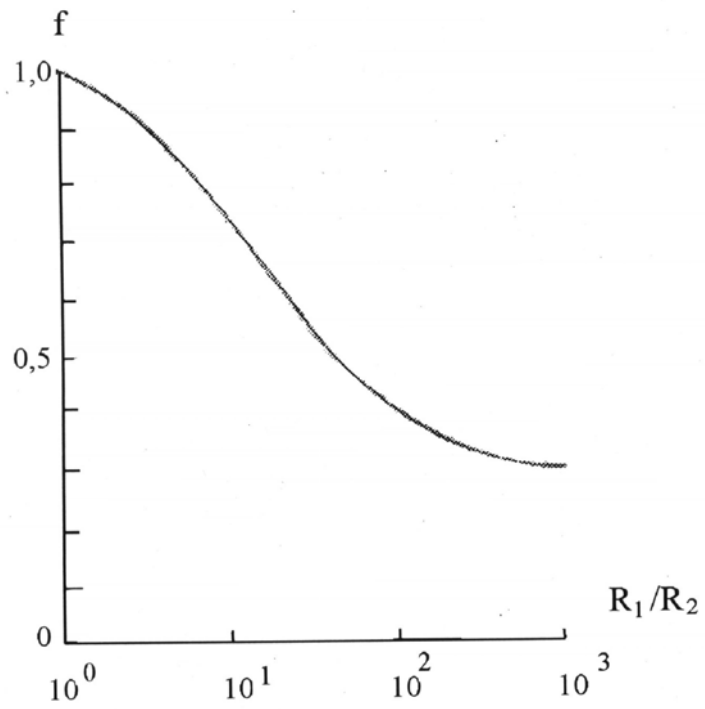


Р-п-ауысуы бар холдық үлгідегі токтардың үлестірілуі



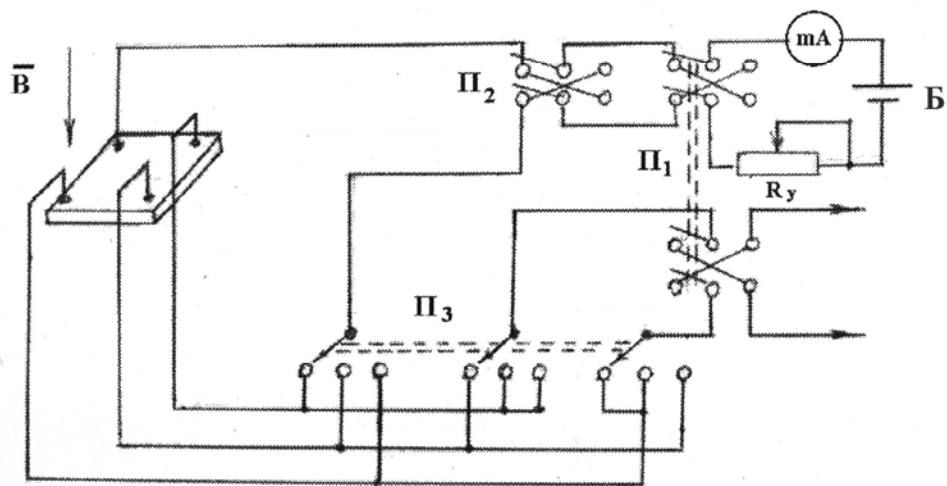
3-ші сурет.

$f(R_1/R_2)$  түзеткіш функцияның графигі



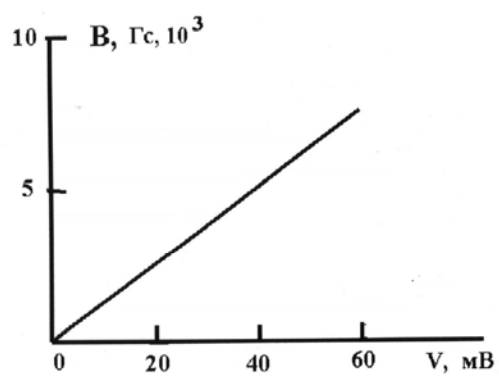
4-ші сурет.

Электрөткізгіштікті және Холл әффеіктісің анықтайтын схемасы



5-ші сурет.

Холл датчиктің градуирлеу графигі.  $J = 12 \text{ mA}$ .



6-ші сурет.