

9 Дәріс

Өрістік транзисторлар. Өрістік транзисторлардың түрлері, жұмыс принципі және статикалық сипаттамалары. Вольт-амперлік сипаттамасы.

- Дәрістің мақсаты: Өрістік транзисторлардың құрылымын, жұмыс істеу принципін, түрлерін, статикалық және вольт-амперлік сипаттамаларын терең түсіну. Сонымен қатар, олардың практикалық қолдану салаларын қарастыра отырып, өрістік транзисторлардың заманауи электроникадағы маңызын ұғыну.

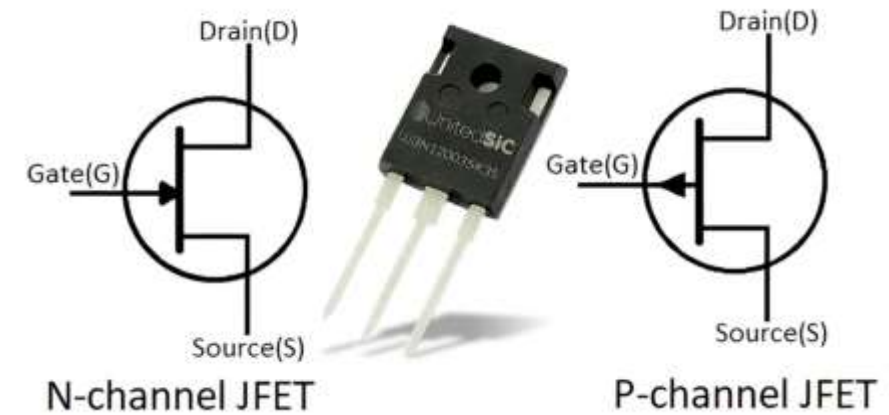
Кіріспе

- Өрістік транзисторлар (ӨТ) — бұл токтың басқарылуы электр өрісі арқылы жүзеге асатын жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар биполярлы транзисторлардан негізгі айырмашылығы — басқару электр тогы емес, кернеу арқылы жүзеге асады, сондықтан қуат тұтынуы төмен болады.



Өрістік транзисторлардың түрлері

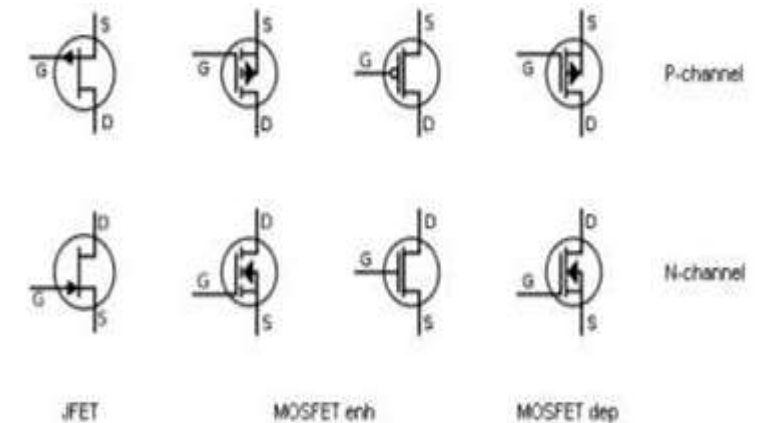
- Өрістік транзисторлар (ӨТ) — бұл басқару сигналы ретінде ток емес, электр өрісі арқылы әрекет ететін құрылғылар. Олардың түрлері арнаның құрылымына және басқару әдісіне байланысты екі негізгі топқа бөлінеді:
- а) Каналы бар өрістік транзисторлар (Junction Field-Effect Transistor, JFET)
- Бұл түрдегі транзисторларда өткізгіш арна (канал) құрылғының ішінде өндіріс кезінде алдын ала қалыптасады. Осы арна арқылы негізгі ток өтеді.
- 1) N-каналды JFET:
 - ❖ Бұл құрылғыда негізгі заряд тасымалдаушылар — электрондар. ❖ Арна n-типті жартылай өткізгіштен тұрады.
 - ❖ Қақпа (Gate) р-типті материалдан жасалып, арнамен рп-контакт арқылы байланысады.
- 2) P-каналды JFET:
 - ❖ Негізгі заряд тасымалдаушылар — тесіктер.
 - ❖ Қақпаға оң кернеу берілсе, арна жабыла бастайды.



б) Изоляцияланған қақпалы өрістік транзисторлар (MOSFET)

- MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) — қазіргі заманғы электроникада кеңінен қолданылатын өрістік транзистордың түрі. Оның негізгі ерекшелігі — қақпа (Gate) мен арна арасында изоляция (әдетте SiO_2) орналасқан. Бұл құрылым кіріс тогының болмауына және энергияны аз тұтынуға мүмкіндік береді.
- MOSFET-тің екі негізгі режимі бар:
- 1. Enhancement (арттырушы) — Арна кернеу берілгенде ғана пайда болады
- 2. Depletion (азайтушы) — Арна бастапқыда бар, бірақ кернеу арқылы тарылтылады немесе кеңейтіледі

- 1) N-каналды (Enhancement-mode N-MOSFET)
- ❖ Қалыпты жағдайда арна жоқ, яғни транзистор жабық.
- ❖ Қақпаға оң кернеу бергенде, субстраттағы тесіктер ығысып, электрондар шоғырланып, өткізгіш арна түзіледі.
- ❖ Кернеу артқан сайын, арна кеңейіп, ток артады.
- Артықшылықтары:
- ❖ Жоғары жылдамдық
- ❖ Жоғары коммутациялық жиілік
- 2) P-каналды (Enhancement-mode P-MOSFET)
- ❖ Қақпаға теріс кернеу берілгенде ғана арна пайда болады.
- ❖ Қалған жұмыс принципі N-каналды түріне ұқсас, бірақ заряд тасымалдаушылар — тесіктер.
- 3) N-каналды (Depletion-mode N-MOSFET)
- ❖ Бұл транзисторда өткізгіш арна бастапқыда бар.
- ❖ Қақпаға теріс кернеу берілсе, электрондар ығысып, арна тарылып, ток азаяды.
- ❖ Егер қақпаға оң кернеу берілсе — арна кеңейіп, ток артады.
- 4) P-каналды (Depletion-mode P-MOSFET)
- ❖ Бастапқыда арна бар.
- ❖ Қақпаға оң кернеу берілсе, арна тарылып, ток азаяды.
- ❖ Теріс кернеу берілсе — арна кеңейіп, ток артады.



Жұмыс принципі

- Өрістік транзисторлардың (ӨТ) жұмыс істеуінің негізі — электр өрісінің әсерімен арна арқылы өтетін тоқты басқару. Бұл басқару қақпа (Gate) мен кіріс (Source) арасындағы кернеу (U_{GS}) арқылы жүзеге асады.
- Яғни, қақпаға берілетін кернеу арқылы транзистор ішіндегі өткізгіш арнаның қасиеттері (кеңдігі, кедергісі) өзгереді, нәтижесінде шығыс арқылы өтетін ток (I_D) басқарылады.
- N-каналды өрістік транзистордың жұмыс принципі
- 1) JFET (каналы бар өрістік транзистор):
 - ❖ N-типті арна арқылы электрондар ағыны жүреді.
 - ❖ Қақпа (Gate) P-типті жартылай өткізгіштен тұрады, ол арнамен pn контакт арқылы байланысады.
 - ❖ Қақпа мен арна арасындағы кернеу теріс болғанда, pn-контакт кері бағытта кернеу алады.
 - ❖ Бұл кезде арна бойында depletion-аймақ пайда болады, ол өткізгіш арнаны тарылтады, нәтижесінде ток азаяды.
 - ❖ Қақпа кернеуі белгілі бір теріс мәнге жеткенде (қақпа кесу кернеуі — $U_{GS(off)}$), арна толық жабылады, ток тоқтайды.

- 2) MOSFET (изоляцияланған қақпалы транзистор):
- ❖ N-каналды энхансмент (арттырушы) MOSFET бастапқыда арнасыз болады.
- ❖ Қақпаға оң кернеу берілгенде, Gate және Substrate (p-типті негіз) арасындағы электр өрісі пайда болады.
- ❖ Бұл өріс негіздегі тесіктерді ығыстырып, электрондарды жинақтайды.
- ❖ Нәтижесінде инверсиялық қабат түзіледі — бұл өткізгіш арна.
- ❖ Кернеу жоғарылаған сайын арна кеңейеді, дренаж тогы (I_D) өседі. Қақпа ток өткізбейді, өйткені қақпа пен арна арасында SiO_2 изоляторы орналасқан. Яғни, кіріс тогы ≈ 0 , бұл MOSFET-тің энергия үнемдейтін элемент екенін көрсетеді.

- Р-каналды өрістік транзистордың жұмыс принципі
- Р-каналды транзисторларда жұмыс принципі N-каналды түрге симметриялы, тек кернеу мен ток бағыттары қарама-қарсы:
- ❖ Қақпаға теріс кернеу берілгенде арна (электрондар ығысып, тесіктер жиналады) қалыптасады немесе кеңейеді.
- ❖ Ток Source-тен Drain-ге бағытталады (электрон ағынына қарама-қарсы — тесіктер ағыны).
- ❖ Кернеу неғұрлым теріс болса, арна соғұрлым жақсы қалыптасады, ток артады.

Вольт-амперлік сипаттамалары

- Вольт-амперлік сипаттама (BAC) — бұл өрістік транзистордың электрлік мінез-құлқын сипаттайтын маңызды график. Ол арна арқылы өтетін токтың (I_D), дренаж-көз кернеуіне (U_{DS}) тәуелділігін көрсетеді, әртүрлі қақпа-көз кернеулері (U_{GS}) кезінде.
- Бұл сипаттама транзистордың жұмыс режимдерін анықтауға мүмкіндік береді және құрылғының коммутатор немесе күшейткіш ретінде қалай жұмыс істейтінін көрсетеді.

- а) N-каналды MOSFET BAC
- 1. Басты жұмыс аймақтары:
 - 1.1. Омикалық аймақ (Ohmic region)
 - ❖ Бұл аймақ UDS кернеуі аз болған кезде байқалады ($U_{DS} < U_{GS} - U_{th}$).
 - ❖ Арна толық ашық, және транзистор резистор сияқты әрекет етеді.
 - ❖ Ток пен кернеу арасында сызықтық байланыс бар:

$$I_D \approx k \cdot [(U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2 / 2]$$
 - ❖ Бұл режимде транзистор аналогтық реттегіштерде, қуатты басқаруда пайдаланылады.
 - 1.2. Қанығу аймағы (Saturation region / Active region)
 - ❖ UDS кернеуі жоғары, ал $U_{GS} > U_{th}$ болса, арна қалыптасқан, бірақ ары қарайғы UDS ұлғаюы I_D -ға әсер етпейді.
 - ❖ Ток тұрақты болып қалады: $I_D = (k \cdot (U_{GS} - U_{th})^2) / 2$
 - ❖ Бұл аймақта MOSFET күшейткіш ретінде қолданылады.
 - ❖ Қанығу режимі стабильді ток көзі ретінде де маңызды.

- 1.3. Блоктау аймағы (Cut-off region)
- ❖ Егер $U_{GS} < U_{th}$ болса, арна қалыптаспайды, яғни транзистор жабық.
- ❖ Арна арқылы ток өтпейді ($I_D \approx 0$).
- ❖ Бұл режимде құрылғы өшірулі немесе логикалық "0" күйінде болады.
- ❖ MOSFET цифрлық коммутатор ретінде дәл осы режимде жұмыс істейді.
- б) P-каналды MOSFET ВАС P-каналды MOSFET үшін ВАС принципі жағынан ұқсас, бірақ келесі айырмашылықтар бар: Барлық кернеу мен ток полярлығы — кері бағытта:
- ❖ U_{GS} — теріс мән
- ❖ U_{DS} — теріс мән
- ❖ I_D — теріс ток

