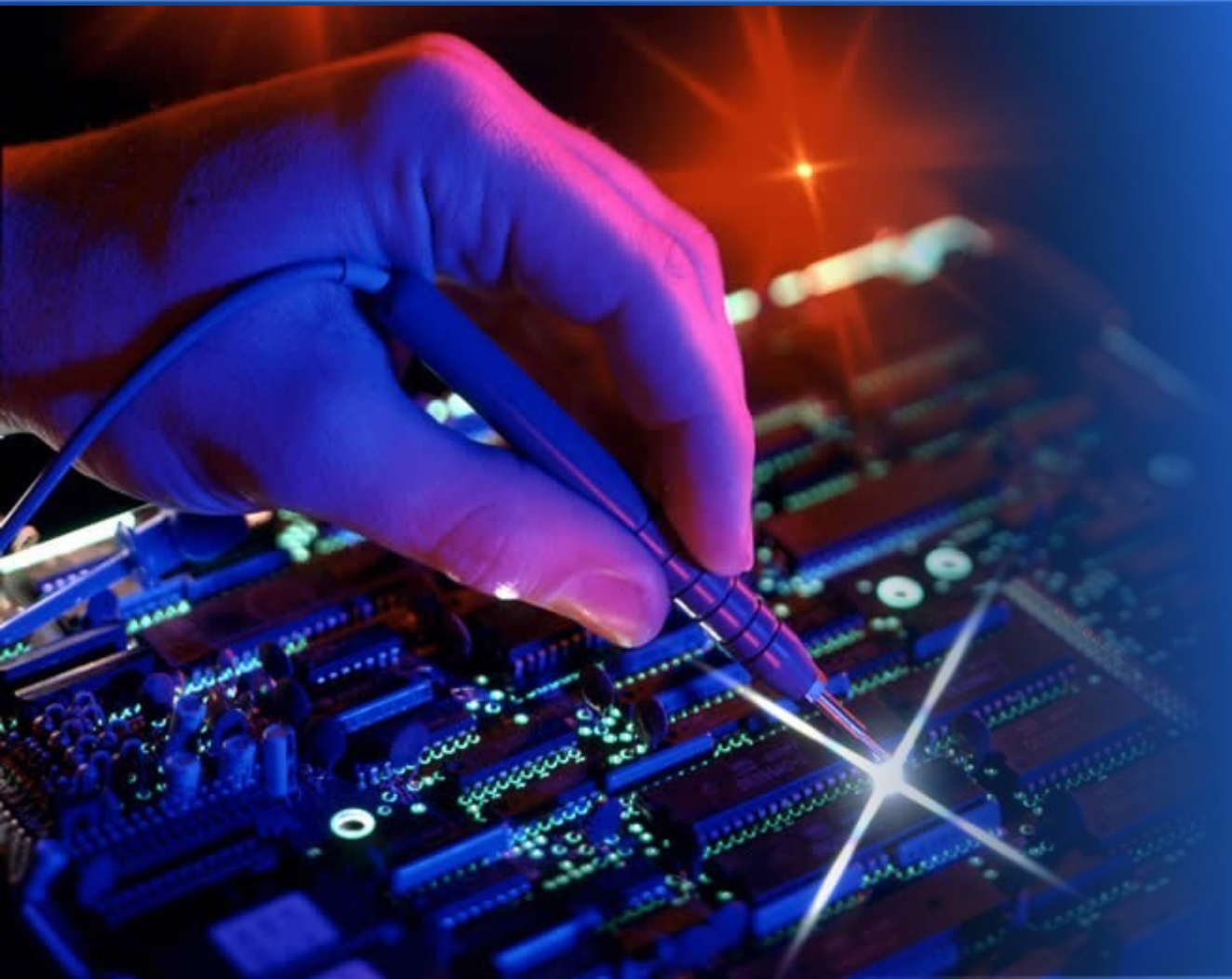


Epäteoreettisen elektroniikan perusteet

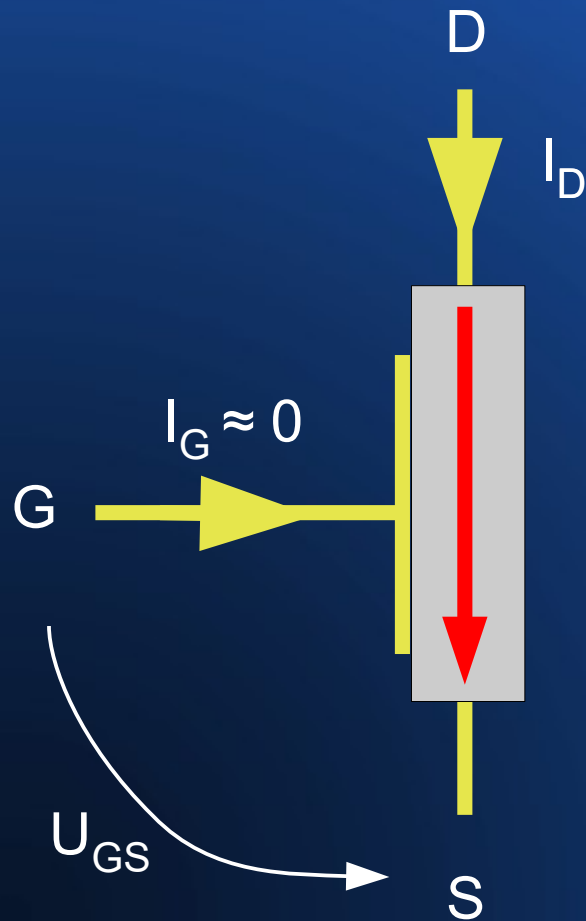


Fetit



Helsinki Hacklab

FETin toiminta



Hilajännite U_{GS} ohjaa drain-virtaa I_D

Ottoimpedanssi on hyvin suuri eli hilavirta $I_G \approx 0$

S = source (lähde)

G = gate (hila)

D = drain (nielu)

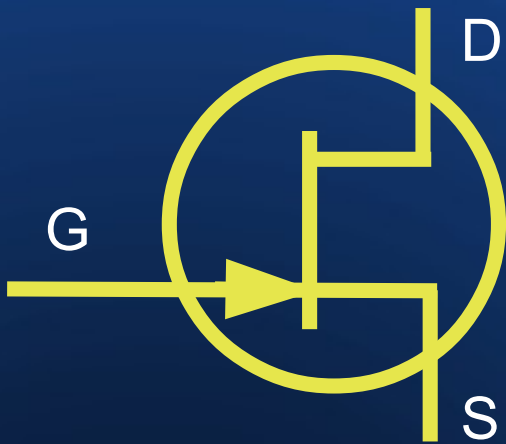


FET-tyypit

- JFET (Junction FET)
 - Depletion mode (sulkukanava)
 - N-kanava
 - P-kanava
- IGFET (Insulated Gate FET) = MOSFET
 - Enhancement mode (avauskanava)
 - N-kanava
 - P-kanava
 - Depletion mode (sulkukanava)
 - N-kanava
 - P-kanava



JFET-tyypit



N-kanava



P-kanava

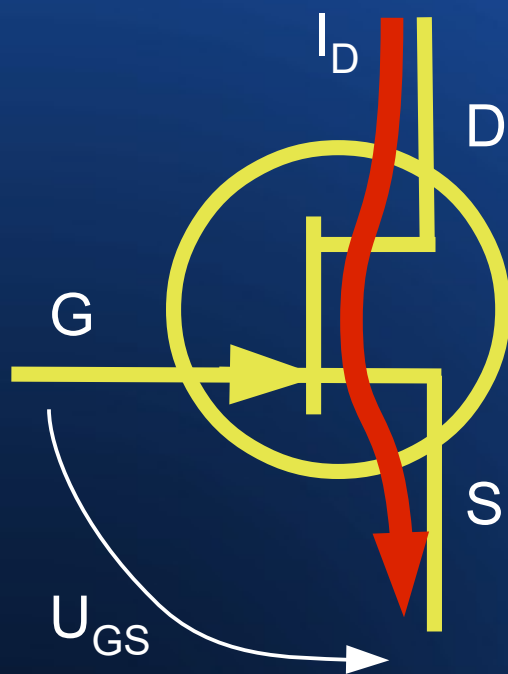
S = source

G = gate

D = drain



JFETin virta ja jännite



N-kanava

- Gate-jännite U_{GS} (aina negatiivinen!)
- Drain-virta I_D
- Kun $U_{GS} = 0$, $I_D = \text{max}$ (kyllästystila)
- $-U_{GS}$:n suurentaminen pienentää drain-virtaa

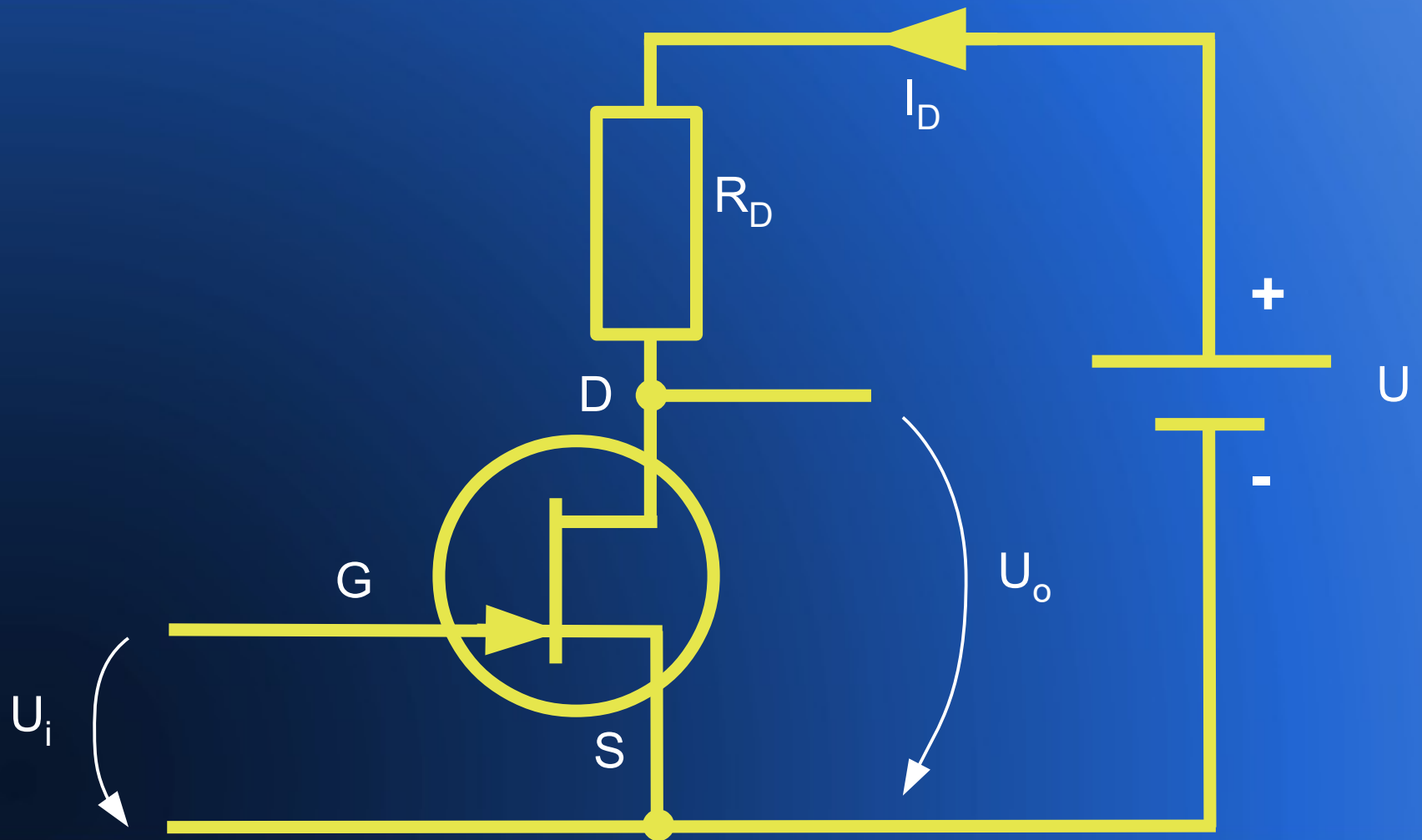
S = source

G = gate

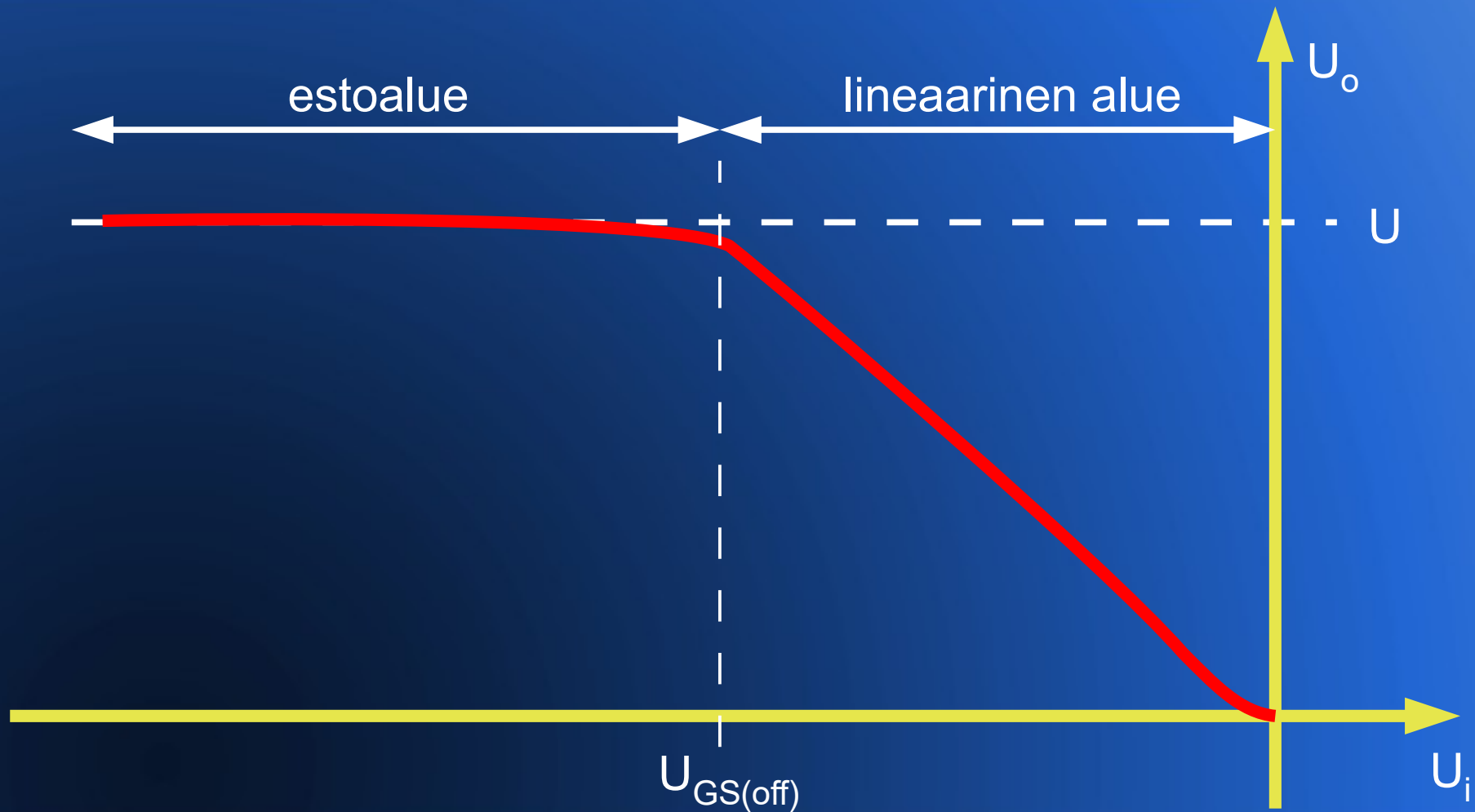
D = drain



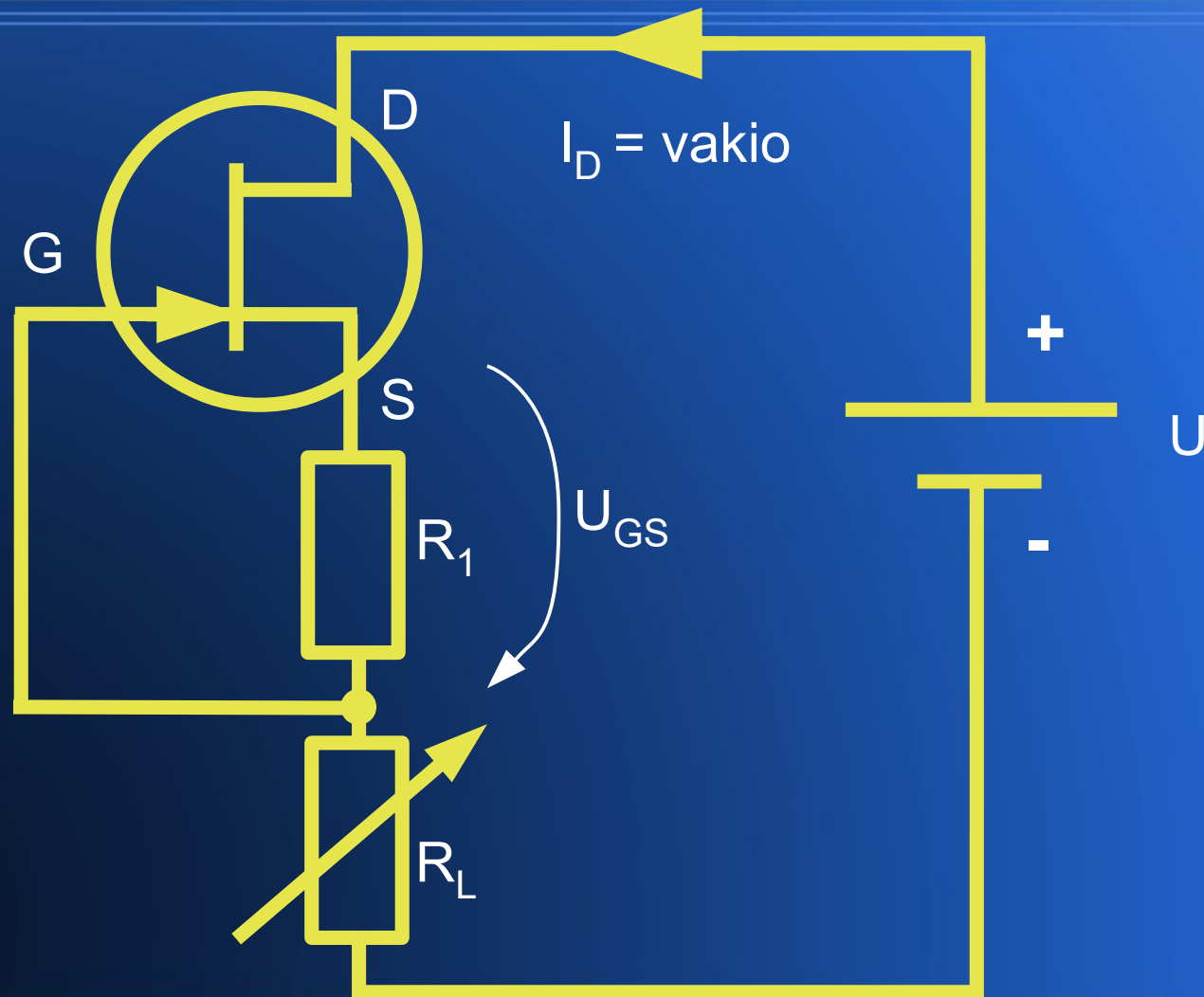
JFET-vahvistin



JFET-vahvistimen jännitteet



JFET-vakiovirtageneraattori



MOSFET-tyypit

Enhancement mode
(avauskanava)

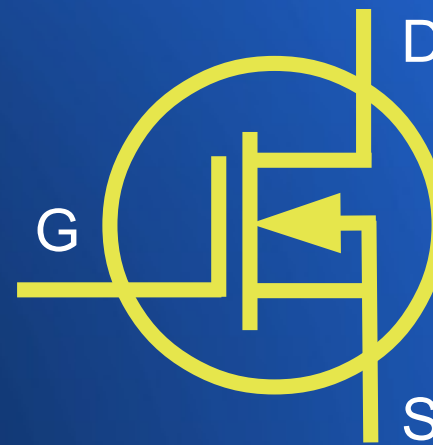


N-kanava



P-kanava

Depletion mode
(sulkukanava)



N-kanava



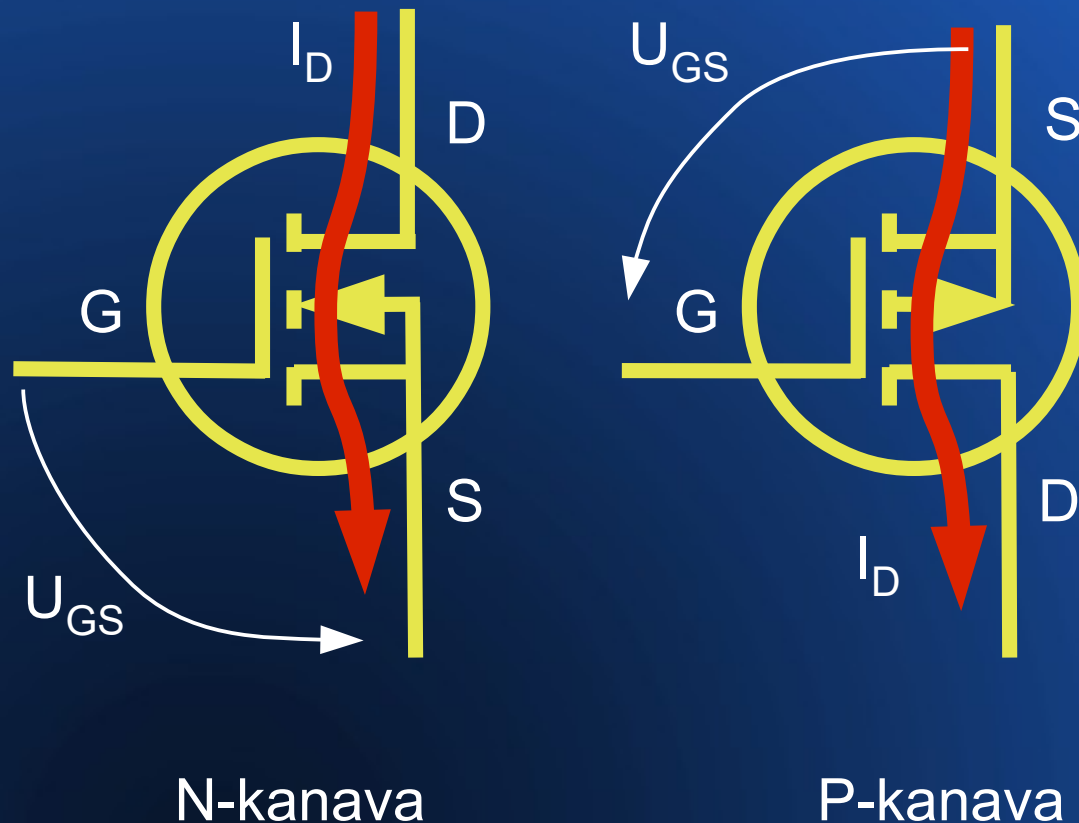
P-kanava

S = source G = gate (hila) D = drain



Helsinki Hacklab

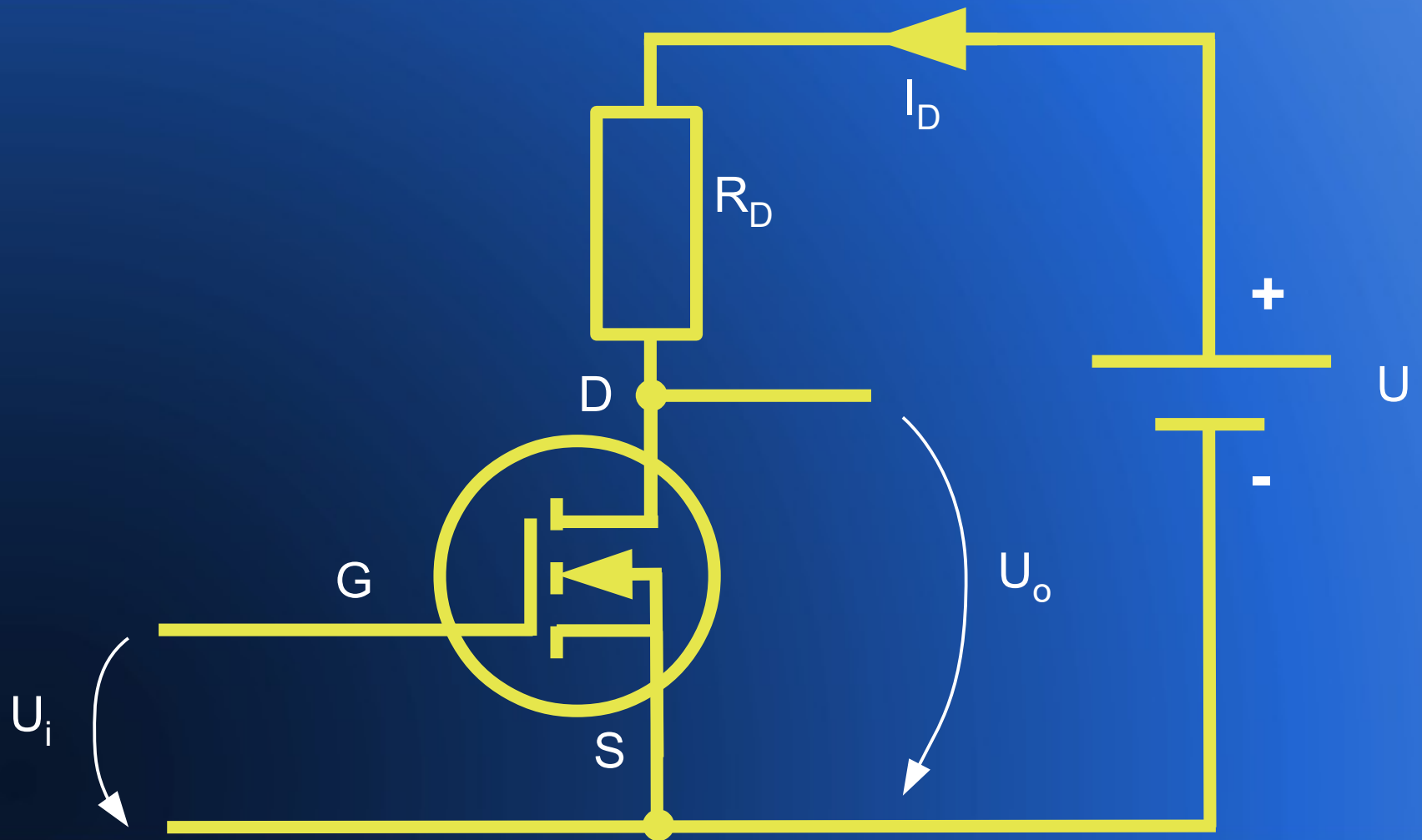
MOSFETin jännitteet ja virrat (enhancement mode)



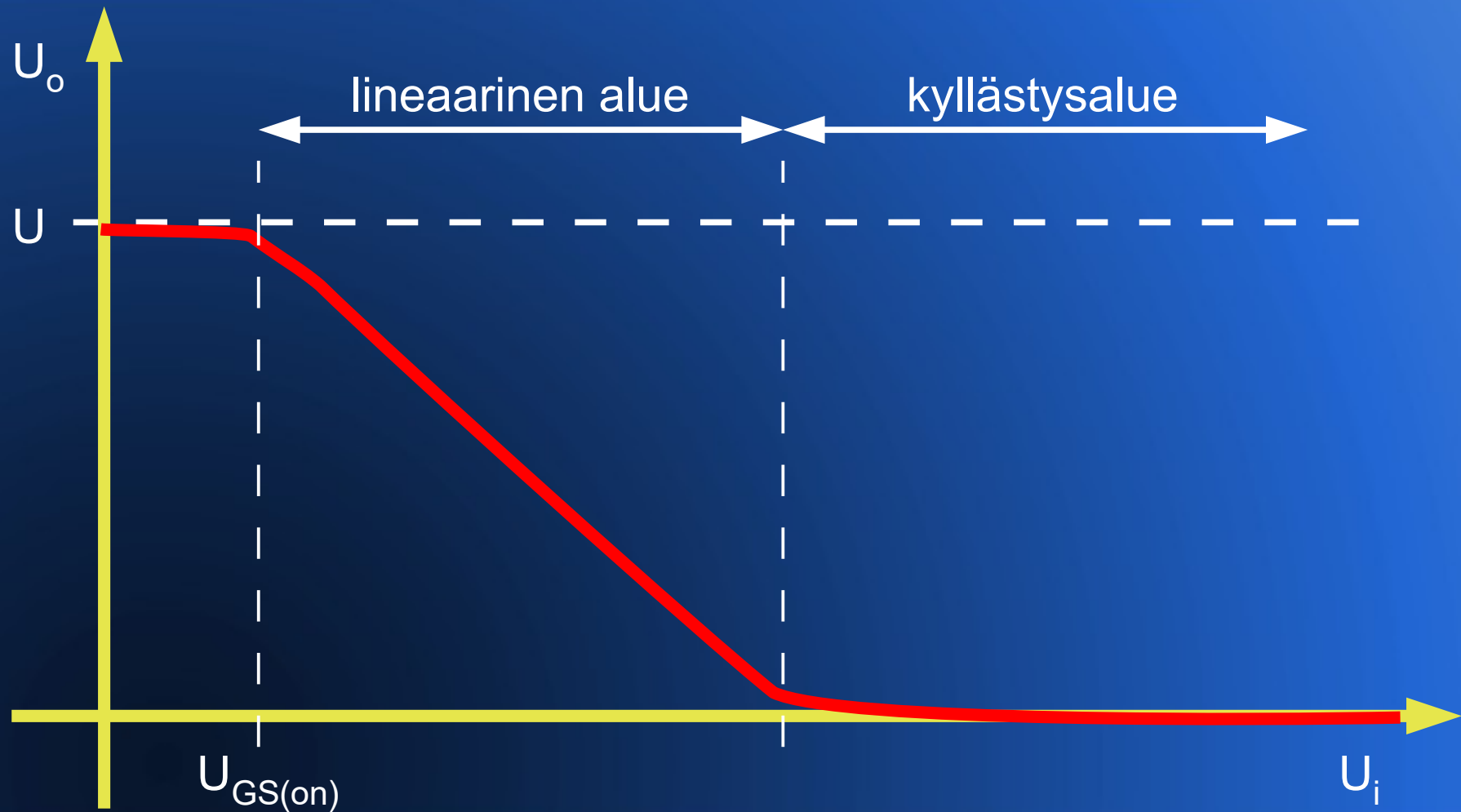
- Kun $U_{GS} = 0$, $I_D = 0$
- U_{GS} :n suurentaminen suurentaa drain-virtaa



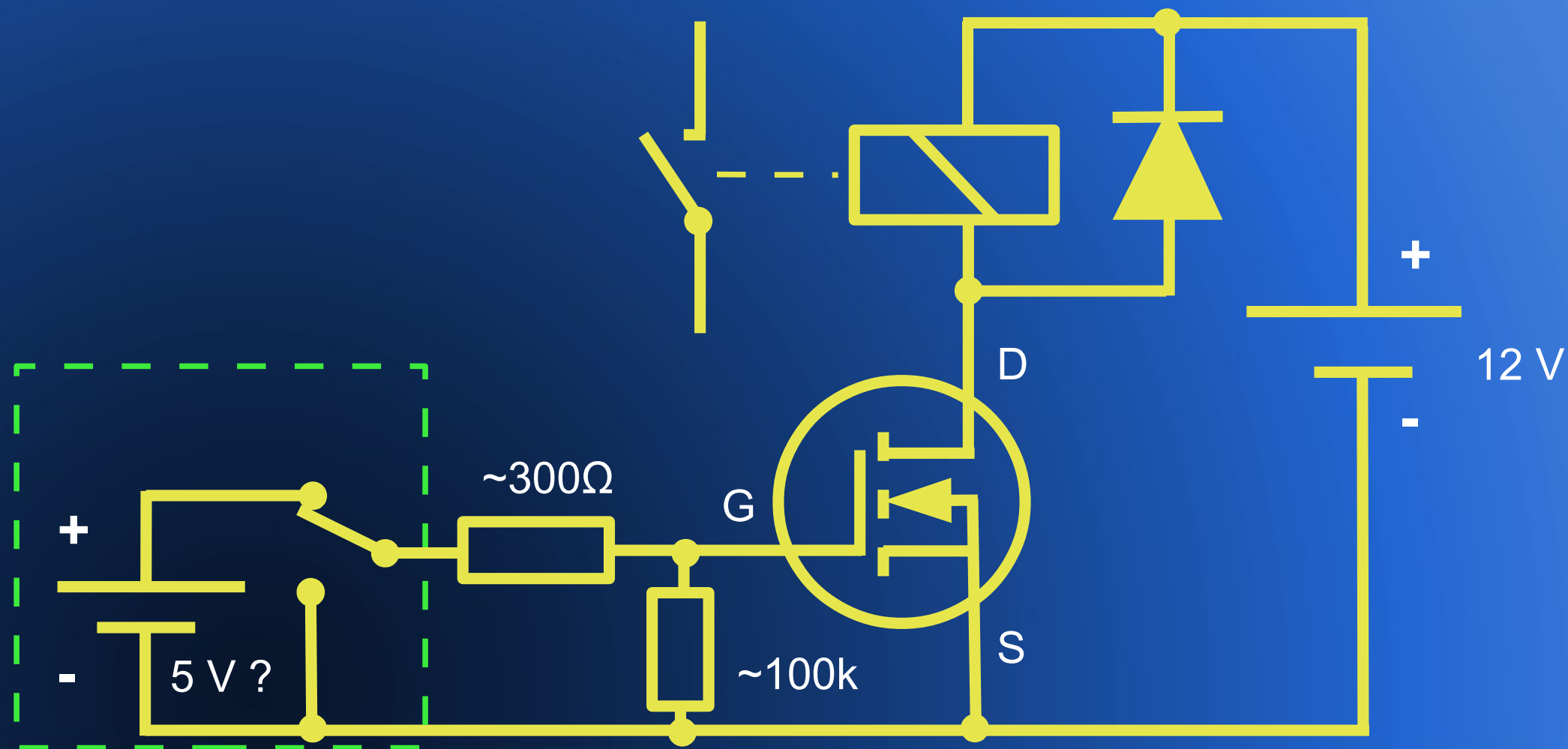
MOSFET-vahvistin



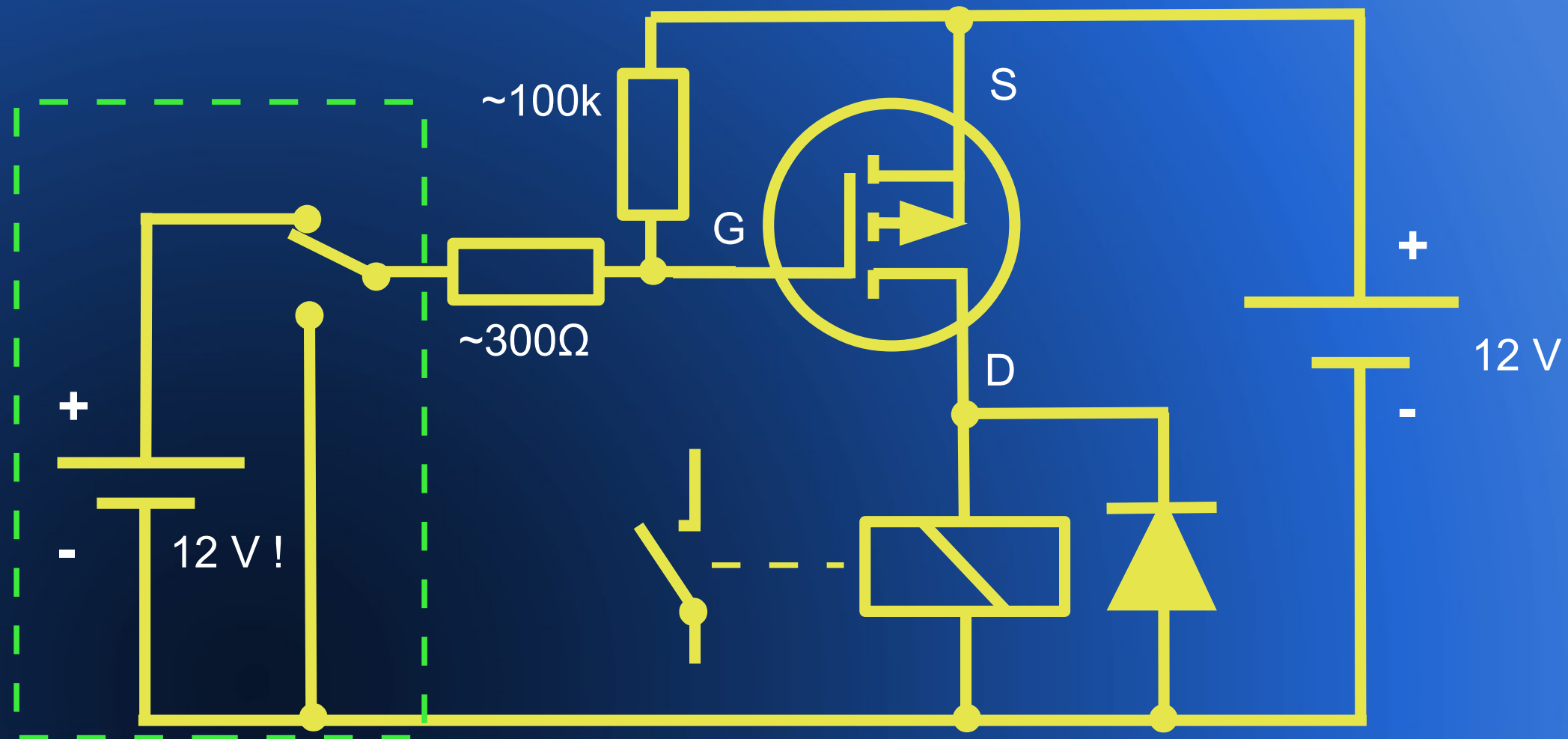
MOSFET-vahvistimen jännitteet



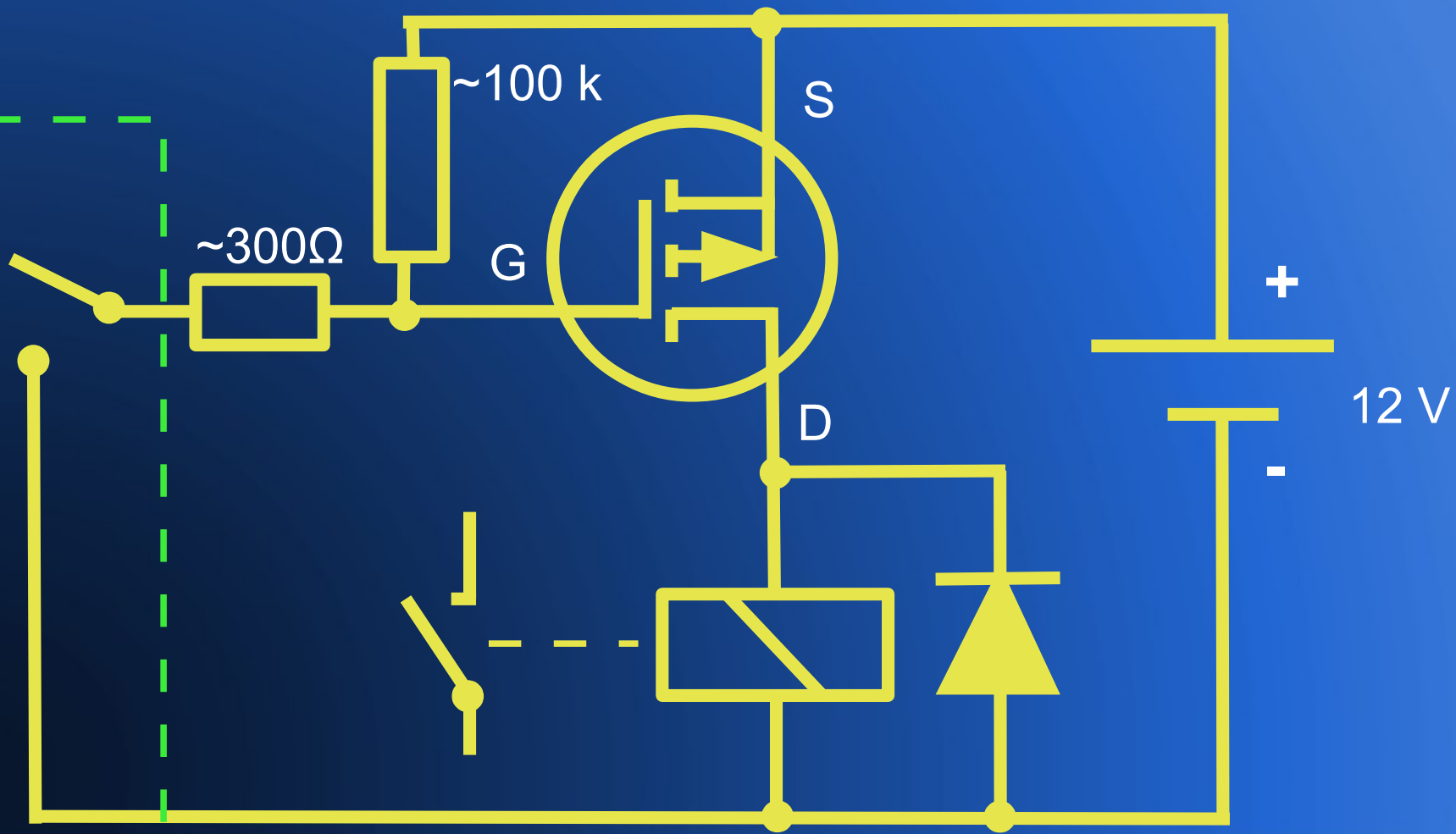
N-MOSFET kytkimenä



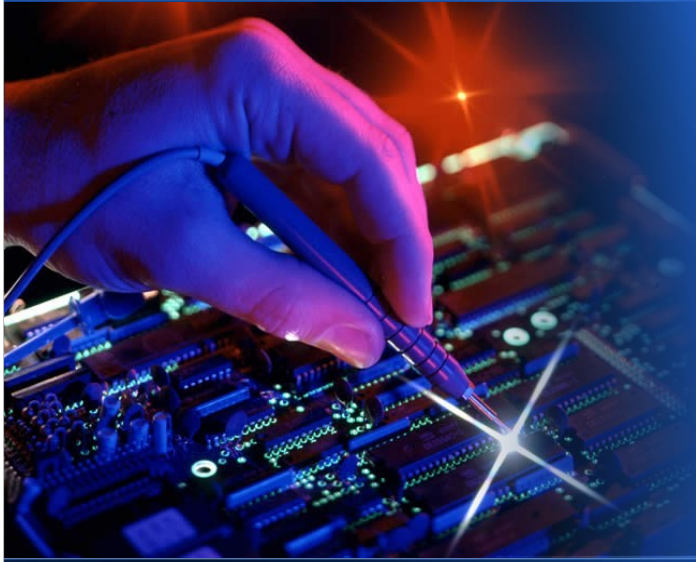
P-MOSFET kytkimenä



P-MOSFET kytkimenä



Epäteoreettisen elektroniikan perusteet



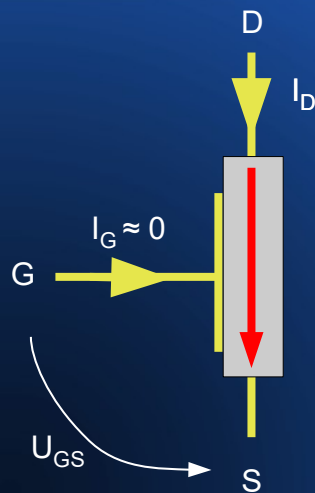
Fetit



Helsinki Hacklab

Fettien perusteet

FETin toiminta



Hilajännite U_{GS} ohjaa drain-virtaa I_D

Ottoimpedanssi on hyvin suuri eli hilavirta $I_G \approx 0$

S = source (lähde)

G = gate (hila)

D = drain (nielu)



Helsinki Hacklab

FETissä on drainin ja sourcen välillä kanava, jota pitkin virta kulkee. Kanavan leveyttä, ja niin ollen virran voimakkuutta, ohjataan hilan ja sourcen välisellä jännitteellä.

Erona transistoriin siis on, että drain-virtaa ohjataan hilajännitteellä perusteella, kun transistorissa kollektorivirtaa ohjataan kantavirralla perusteella.

FET-tyypit

- JFET (Junction FET)
 - Depletion mode (sulkukanava)
 - N-kanava
 - P-kanava
- IGFET (Insulated Gate FET) = MOSFET
 - Enhancement mode (avauskanava)
 - N-kanava
 - P-kanava
 - Depletion mode (sulkukanava)
 - N-kanava
 - P-kanava



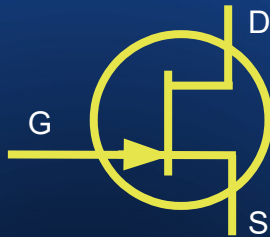
Helsinki Hacklab

FET-tyyppien jaottelu.

Sulkukanava = kanava on normaalisti auki, ja hilalle tuotavalla jännitteellä kanavaa voidaan sulkea.

Avauskanava = kanava on normaalisti suljettu, ja hilalle tuotavalla jännitteellä kanavaa voidaan avata.

JFET-tyypit



N-kanava



P-kanava

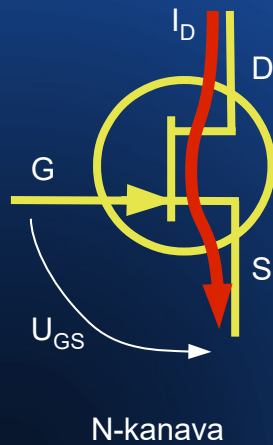
S = source
G = gate
D = drain



Helsinki Hacklab

JFETtejä on kahta tyyppiä: N-kanavaisia ja P-kanavaisia.

JFETin virta ja jännite



- Gate-jännite U_{GS} (aina negatiivinen!)
- Drain-virta I_D
- Kun $U_{GS} = 0$, $I_D = \max$ (kyllästystila)
- $-U_{GS}$:n suurentaminen pienentää drain-virtaa

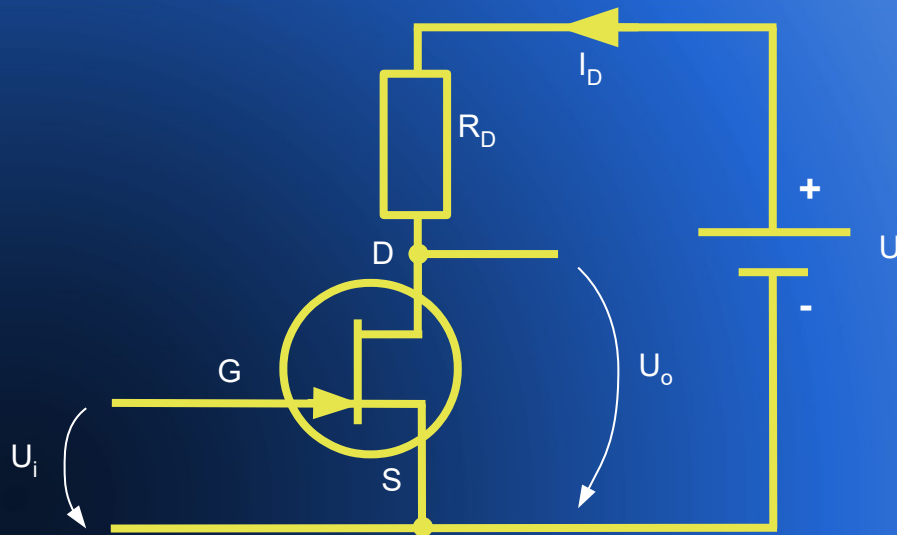
S = source
G = gate
D = drain



Helsinki Hacklab

JFET on aina sulkukanavatyyppinen, eli kanava on täysin auki (eli FET on kyllästystilassa) kun $U_{GS} = 0$. Tuomalla hilalle negatiivinen jännite (source korkeammassa jännitteessä kuin hila), kanava sulkeutuu enemmän tai vähemmän, jännitteen suuruudesta riippuen. Riittävän isolla hilajännitteellä kanava menee kokonaan kiinni.

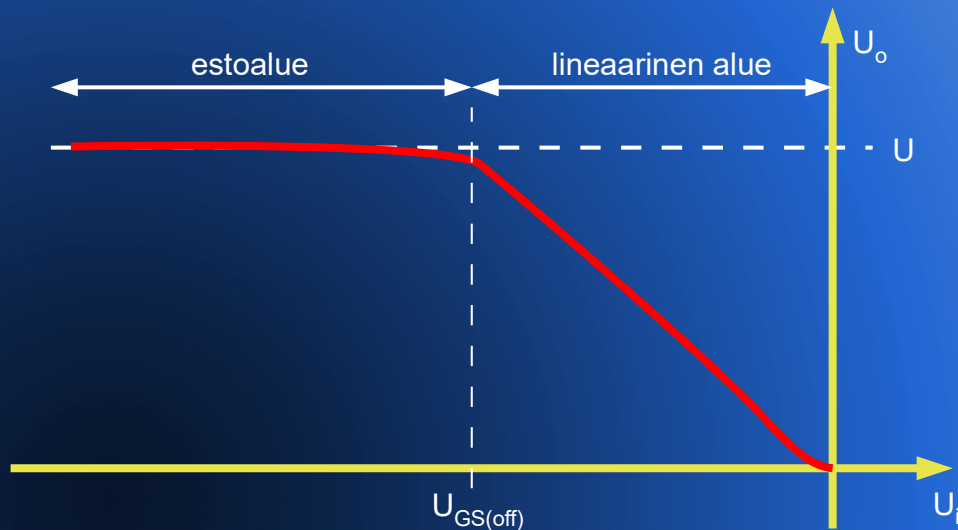
JFET-vahvistin



Helsinki Hacklab

Yksinkertainen JFET-vahvistin. Tulojännite U_i ,
lähtöjännite U_o . Näiden välinen riippuvuus on
kuvattu seuraavalla slidella.

JFET-vahvistimen jännitteet

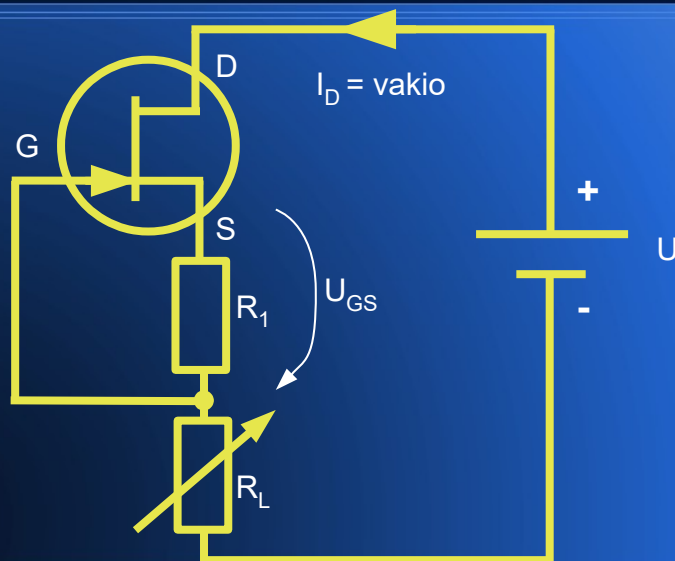


Helsinki Hacklab

Edellisen kuvan piirin lähtöjännite tulojännitteen funktiona. Käyrässä on kaksi oleellista osaa:

- Lineaarinen alue: lähtöjännite riippuu lineaarisesti tulojännitteestä.
- Estoalue: kun $U_i < -U_{GS(off)}$ lähtöjännite on sama kuin käyttöjännite, koska drain-virtaa ei kulje ja R_D :ssä ei tapahdu jännitehäviötä.

JFET-vakiovirtageneraattori

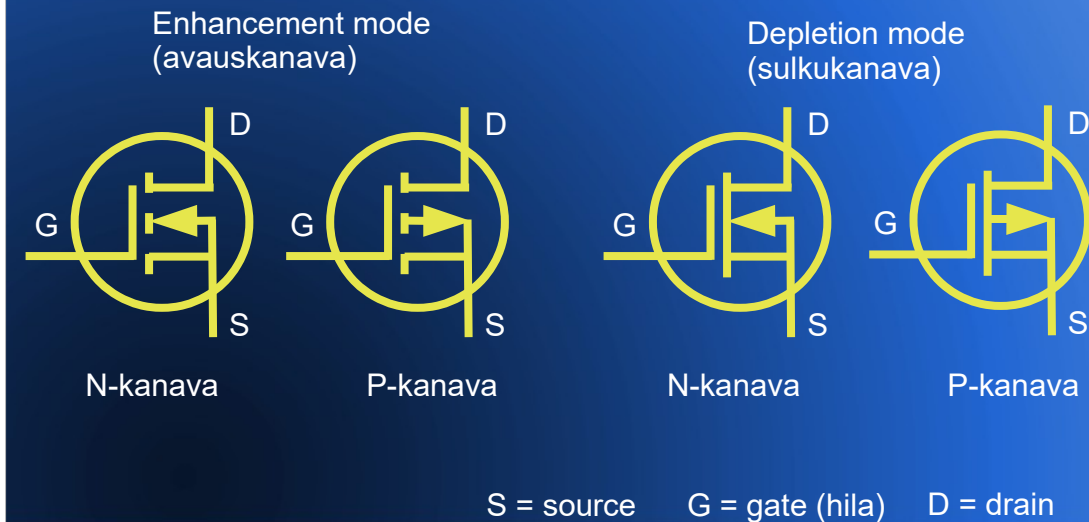


Helsinki Hacklab

Esimerkki JFETin käytöstä: vakiovirtageneraattori
JFETillä ja yhdellä vastuksella.

Jos kuorma R_L pyrkii ottamaan enemmän virtaa, jännite R_1 :n yli kasvaa, jolloin negatiivinen hilajännite kasvaa, ja drain-virta pienenee. Vastaavasti käy kuormavirran pienentyessä.

MOSFET-tyypit

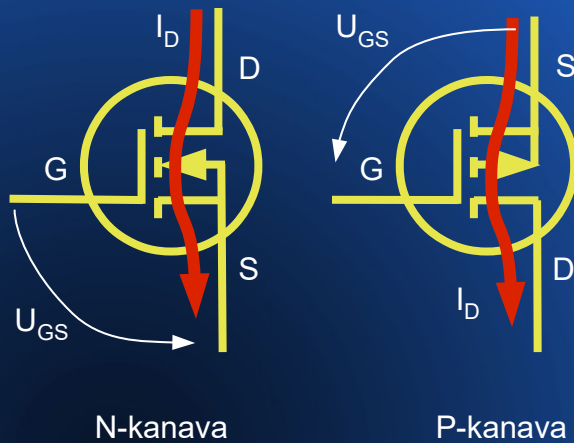


Helsinki Hacklab

MOSFETteja on sekä sulkuk- että avauskanavaisia, molempia N- ja P-kanavaisina.

Käytännössä sulkukanavaiset MOSFETit ovat harvinaisia, eikä niitä käsitellä tässä esityksessä enempää.

MOSFETin jännitteet ja virrat (enhancement mode)



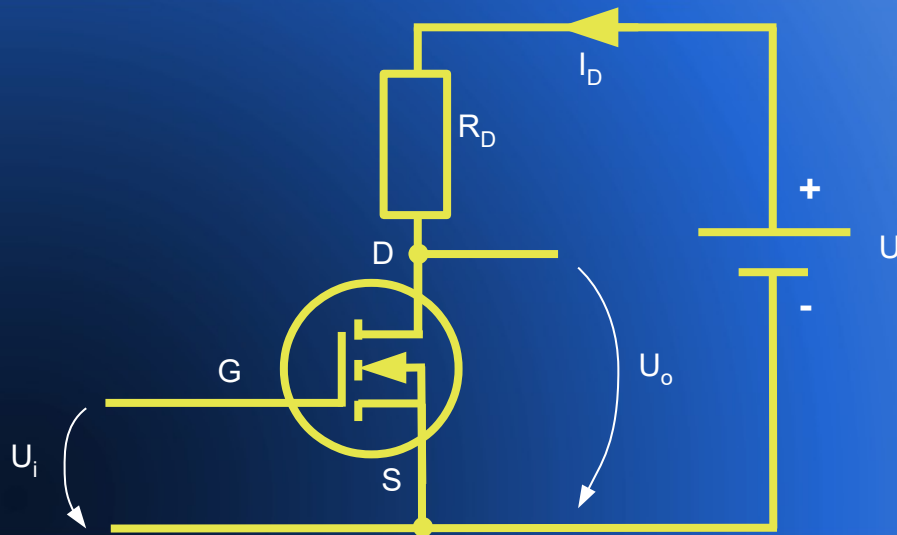
- Kun $U_{GS} = 0$, $I_D = 0$
- U_{GS} :n suurentaminen suurentaa drain-virtaa



Helsinki Hacklab

Avauskanavatyyppisessä MOSFETissa kanava on täysin kiinni, kun $U_{GS} = 0$. Tuomalla hilalle positiivinen jännite (hila korkeammassa jännitteessä kuin source), kanava avautuu enemmän tai vähemmän, jännitteen suuruudesta riippuen. Riittävän isolla hilajännitteellä kanava avautuu kokonaan eli FET kyllästyy.

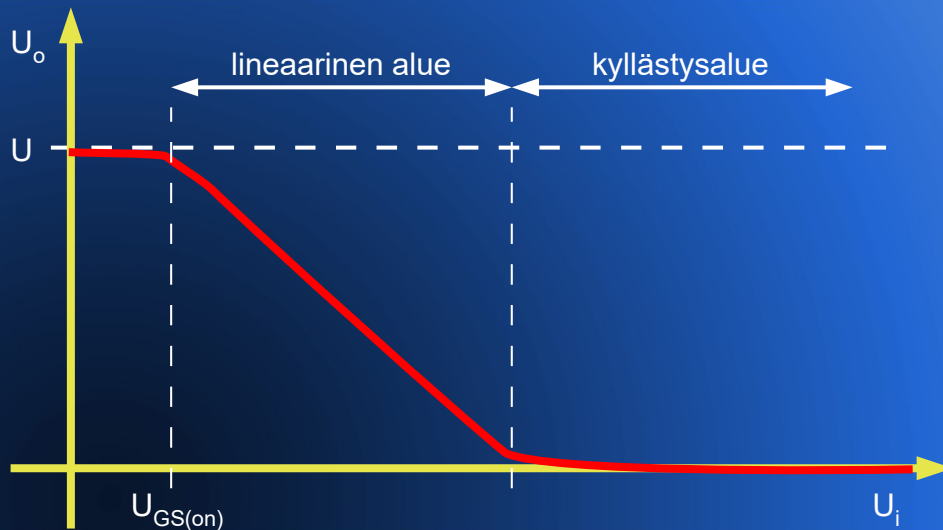
MOSFET-vahvistin



Helsinki Hacklab

Yksinkertainen MOSFET-vahvistin. Tulojännite U_i , lähtöjännite U_o . Näiden välinen riippuvuus on kuvattu seuraavalla slidella.

MOSFET-vahvistimen jännitteet

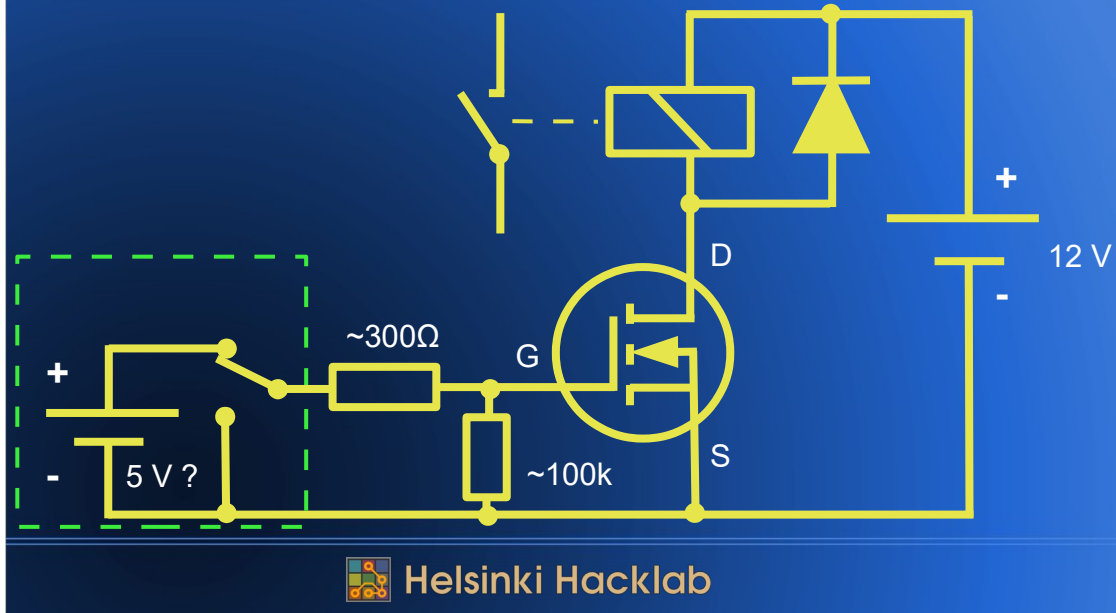


Helsinki Hacklab

Edellisen kuvan piirin lähtöjännite tulojännitteen funktiona. Käyrässä on kolme oleellista osaa:

- Ei-johtava alue: kun $U_i < U_{GS(on)}$ (= hilan kynnysjännite) drain-virta ei kulje, ja lähdössä on täysi jännite.
- Lineaarinen alue: lähtöjännite pienenee tulojännitteen kasvaessa (koska drain-virran kasvaessa R_D :n jännitehäviö suurenee).
- Kyllästysalue: lähtöjännite on hyvin lähellä nollaa (= drainin ja sourcen välinen kyllästysjännite) eikä se riipu tulojännitteestä.

N-MOSFET kytkimenä

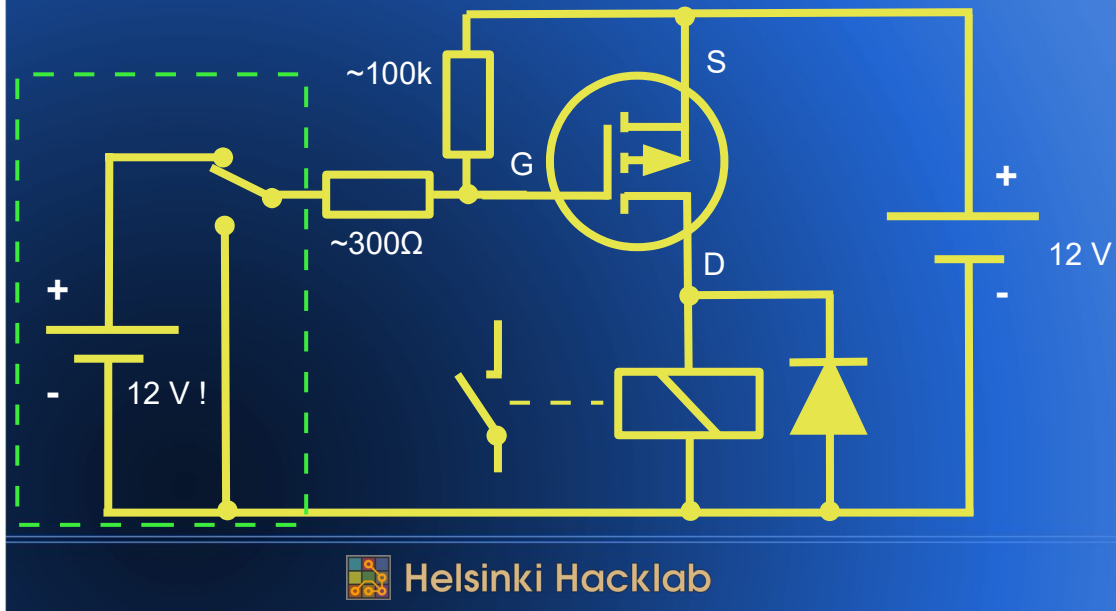


N-kanavaisen MOSFETin käyttö kytkimenä, ohjaamaan esim. relettä. Tässä FETtiä ei ajeta lineaarisella alueella, pyritään pysymään ei-johtavalla tai kyllästysalueella. Vastusten koot suuruusluokkia, ei kovin tarkkoja.

Käytännössä vihreän laatikon sisällä oleva osa voisi olla vaikka mikrokontrollerin lähtö, joka antaa ulos 5V tai 0V.

Kannattaa huomata, että läheskään kaikki MOSFETit eivät mene kyllästystilaan vielä 5V hilajännitteellä. Jos FET jää lineaariselle alueelle, kuorma ei saa täyttä jännitettä ja FET kuumenee. Tätä varten on saatavissa logic level fettejä, jotka menevät kyllästystilaan 5V:lla.

P-MOSFET kytkimenä

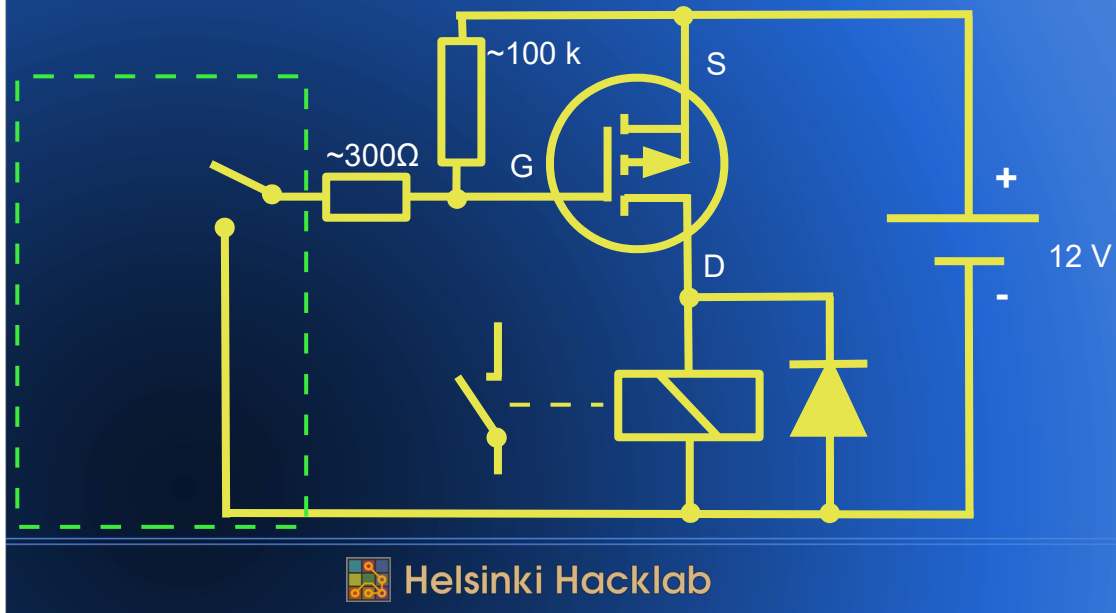


Helsinki Hacklab

P-kanavainen MOSFET kytkimenä. Tämä kytkentä tulee kyseeseen esim. silloin, kun kuorma on jostakin syystä kytkettävä toisesta päästään maihin.

Tässä ohjaavan laitteen pitää pystyä antamaan 12V, jotta FET saadaan ei-johtavaan tilaan ($U_{GS} = 0$).

P-MOSFET kytkimenä



Toinen esimerkki P-kanavaisesta MOSFETista kytkimenä.

Tässä ohjaavan laitteen ei tarvitse pystyä antamaan 12V, vastus vetää U_{GS} :n nolaksi. Mutta ohjaavan laitteen pitää kestää vastuksen kautta kytkeytyvä 12V.