



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

IT eszközök technológiája

6. előadás

I/O, órajel, buszok, tápellátás

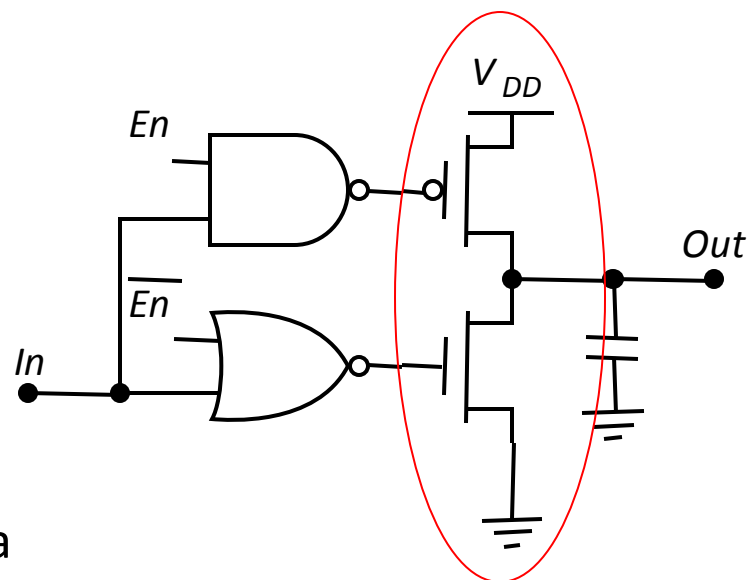
- I/O, azaz be és kimenet megvalósítása
 - Az ún. IO pad felépítése, működése
 - ESD védelem
 - GPIO fontosabb beállításai
- Órajelek
 - Órajel előállítás
 - Órajel szétosztása
- Buszok
 - Tápellátás
 - Az energiaátalakítás módjai AC és DC között.
 - Egyenirányítás
 - DC/DC konverzió
 - Tápegységek

I/O áramkörök

- A külvilággal történő kommunikációt látják el
- A bemenetek védik az integrált áramkört a bemeneti túlfeszültségtől és az elektromos kisülésektől (ESD protection)
 - az IC-t megérintő ember sztatikus feltöltődéséből származó kisütőáram (néhány kV, néhány μA) a bemeneti tranzisztor vékony gate-oxid-ját átüti és tönkreteszi.
- A kimenetek nagy kapacitású vonalakat kell, hogy meghajtsanak, azaz (viszonylag) nagy áramúak.
 - Általában regiszterrel kiegészített háromállapotú bufferek.
- Táp és föld hozzávezetések
 - Közvetlenül biztosítják az áramkör tápellátását.
 - Modern digitális integrált áramkörökben nagyon sok táp/föld láb található
 - Nagy áramok folynak, különösen az órajel kapcsolásakor

A tristate-buffer

- $En=0$ esetén
 - PMOS gate 1, NMOS gate 0
 - Azaz mindkét tranzisztort lezárt, a kimenet lebeg.
- $En=1$ esetén
 - A bemenet vezérli a kaput.
 - Pl. $In=1$, a NAND kapu kimenete 0, a NOR kimenete szintén 0.
 - Így a PMOS vezet és kimenet logikai 1.
- Szokásos elnevezése: **PUSH-PULL** fokozat.



Az ESD védelem

- ESD – Electrostatic Discharge
 - Elektrosztatikus kisülés – ember, vagy más feltöltődött tárgy, kV nagyságrendű, de kis energiájú.
- A gate oxid átütési feszültségét meghaladó feszültség a bemeneten lévő tranzisztort tönkreteszi
 - Általában a teljes áramkör tönkremegy.
 - Általában kb. 40V, kis tápfeszültségű áramköröknél pedig 5V is lehet az átütési feszültség
- Kimeneti tranzisztor esetén, működés közben a drain-re kerülő nagy feszültség rövidzárat okozhat.
 - (rövidzár a kikapcsolt tranzisztoron)
 - Túlmelegedés és végleges tönkremenetel lehet a következmény
- A be és kimeneteket védik a túlfeszültség és az ESD ellen.
 - IC-n belül és (legalábbis illik) az IC-n kívül is, a PCB-n.

A statikus feltöltődés

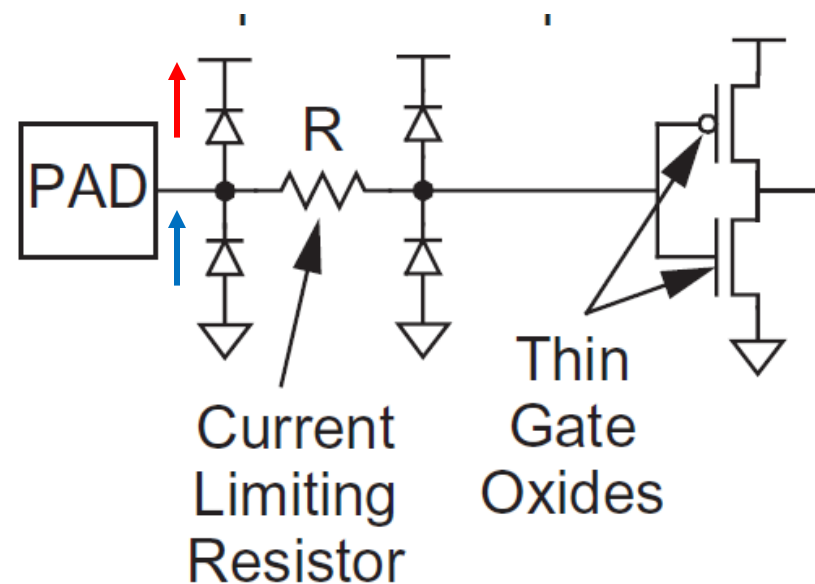
- A levegő relatív páratartalma és az alkalmazott anyagok befolyásolják

Examples of Static Voltage Generation At Different Levels of Relative Humidity (RH)		
Means of Generation	10-25% RH	65-90% RH
Walking across carpet	35,000 V	1,500 V
Walking across vinyl tile	12,000 V	250 V
Worker at bench	6,000 V	100 V
Poly bag picked up from bench	20,000 V	1,200 V
Chair with urethane foam	18,000 V	1,500 V

ESD védelem

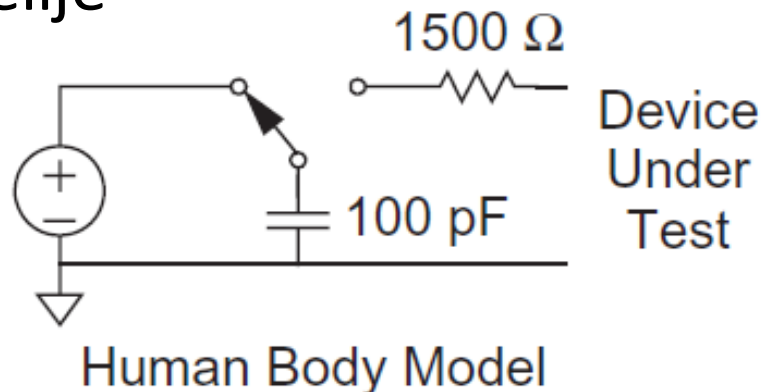
■ Emlékeztető

- Ha a dióda anódja nagyobb feszültségű, mint a katód, akkor nagy árammal vezet
- Egyébként pedig nem vezet.
- (ha a nyíl irányába esik a feszültség vezet...)



- A diódák kinyitnak, ha a bemenetre tápfeszültségnél nagyobb vagy kisebb feszültség kerül.
 - A piros nyíl mutatja az áram útját pozitív, a kék pedig negatív feszültségekre.
 - A dióda kb. 1Ω ellenállású bekapcsolt állapotban. Egy ESD pulzus több 10-20A is lehet (nagyon rövid ideig), ez még mindig 10-20V lehet.
 - A tranzisztorokat egy áramkorlátozó ellenállás és egy második dióda sor védi.

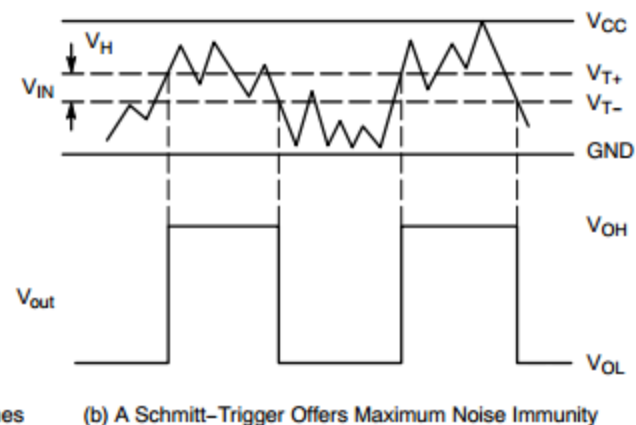
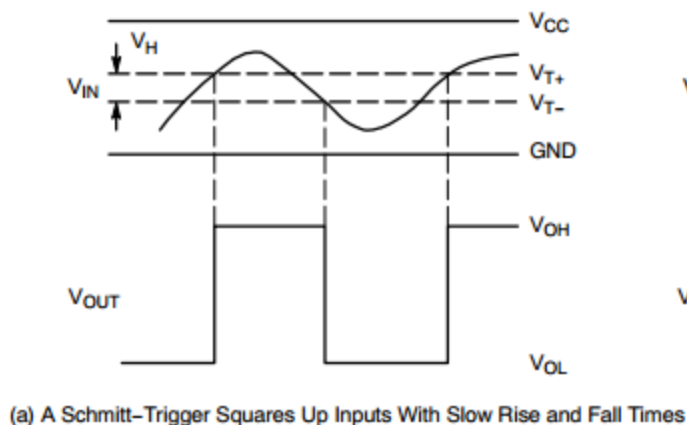
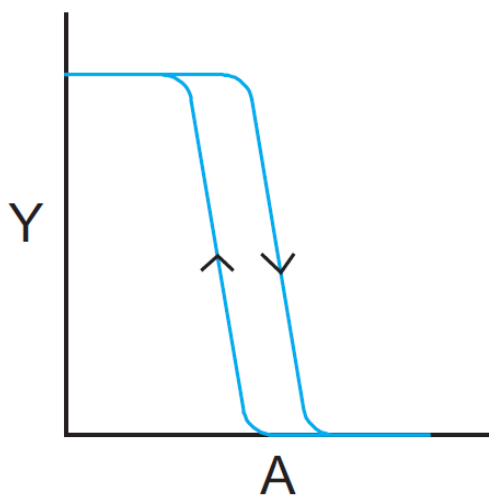
Az emberi test modellje



- Egy 100pF-os kondenzátort nagyfeszültségre feltöltenek, majd rásütik az eszköz lábára.
- A „túlélt” feszültségtől függ az ESD minősítés
 - Pl. ESD 2 – 2kV és 4kV között
- ESD védekezés
 - Egyéni védőfelszerelés (cipő, karperec stb.)
 - Antisztatikus padló stb.

Bemenetek

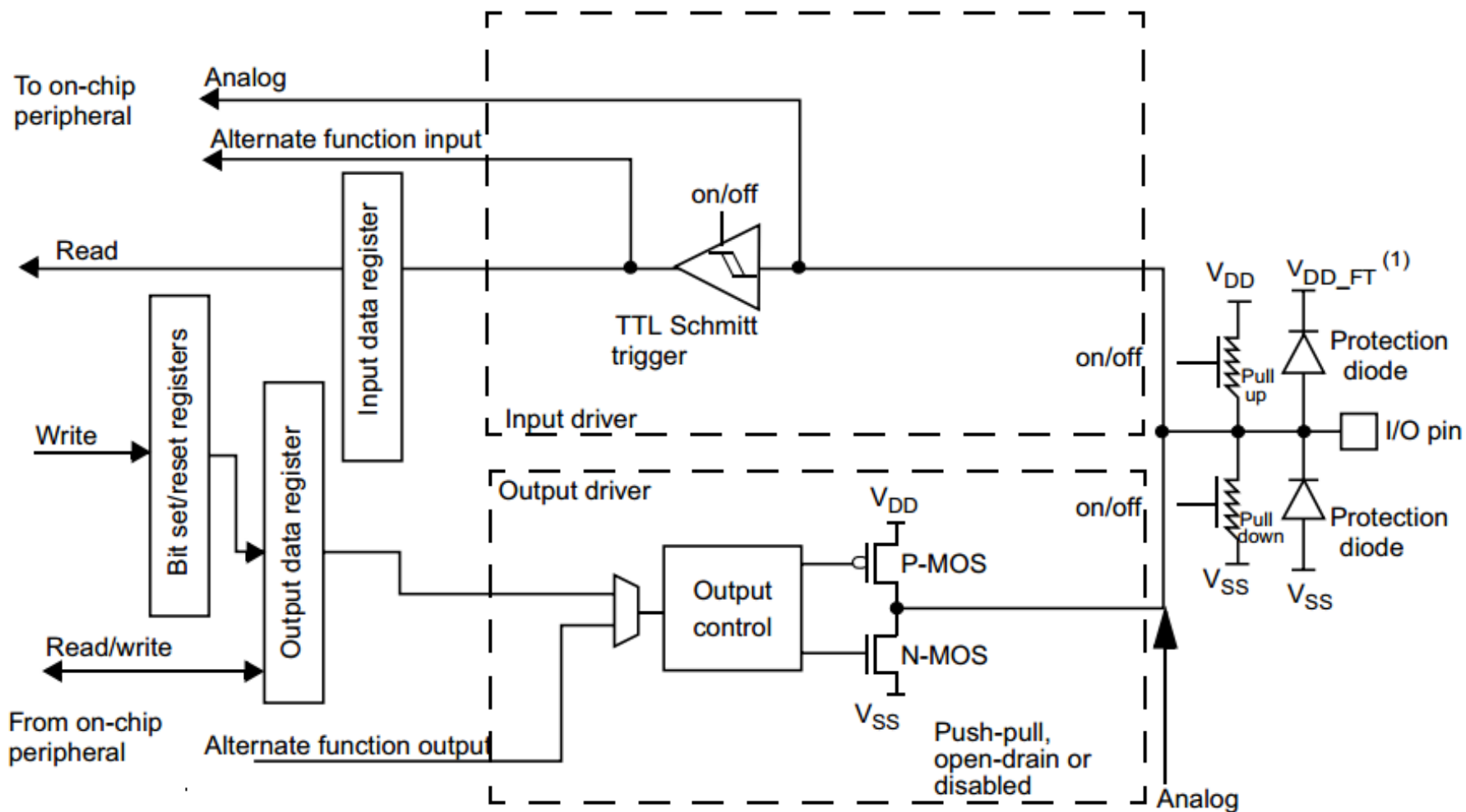
- A bemenetek gyakran Schmitt triggeret alkalmaznak.
 - A Schmitt trigger egy inverter, aminek a komparálási feszültsége magasabb, ha a bemenet alacsony és alacsonyabb, ha a bemenet magas szintű.
 - Ez a bemeneten esetlegesen jelenlévő zajt elnyomja.
 - A hiszterézis kb. 100-200mV általában.



A logikai szint feszültsége

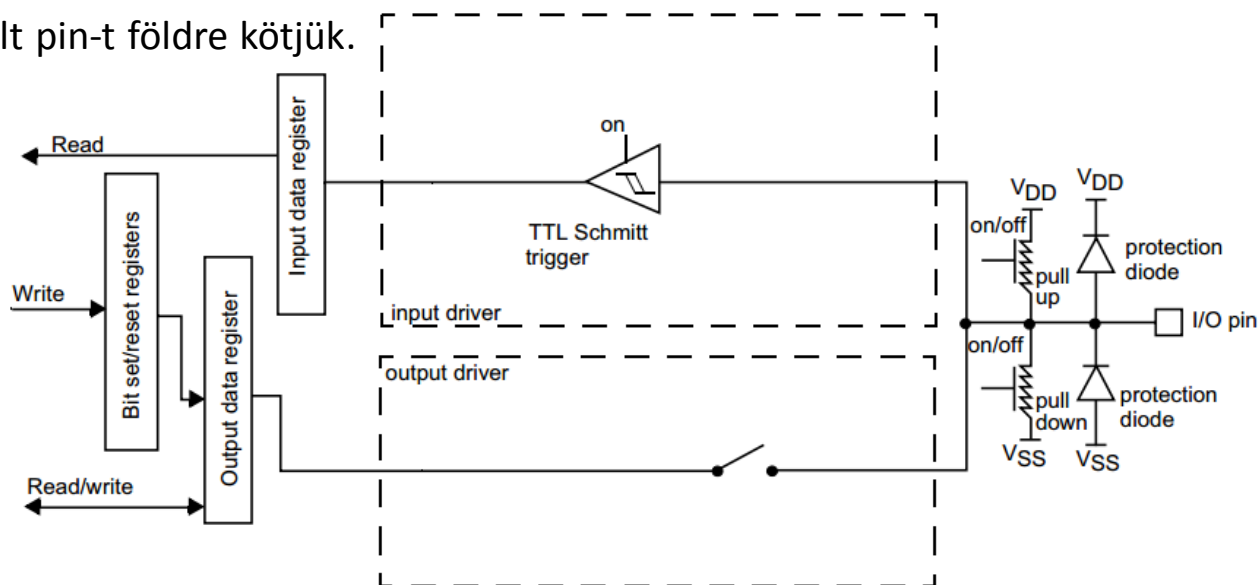
- Gyakran előfordul, hogy az I/O és az áramkör belső része (a **core**) eltérő feszültségű.
 - Vannak I/O és core feszültség pin-ek külön.
- I/O esetén szabványokhoz kell igazodni.
 - 5V (TTL) 3.3V, 2.5V, 1.8V, 1.5V, 1.2V (csökken folyamatosan)
 - Az áramköri mag feszültsége általában alacsonyabb.
 - Sok esetben (dinamikusan) változtatható.
- Eltérő oxidvastagságú és küszöbfeszültségűek az I/O tranzisztorai
- Meg kell valósítani a logikai jelszint konverziót.
 - Erre szolgálnak a szint eltoló áramkörök
 - (level shifter)
 - Két feszültségtartomány közötti átjárást biztosítják.

Példa – egy valódi GPIO. (STM32F407)



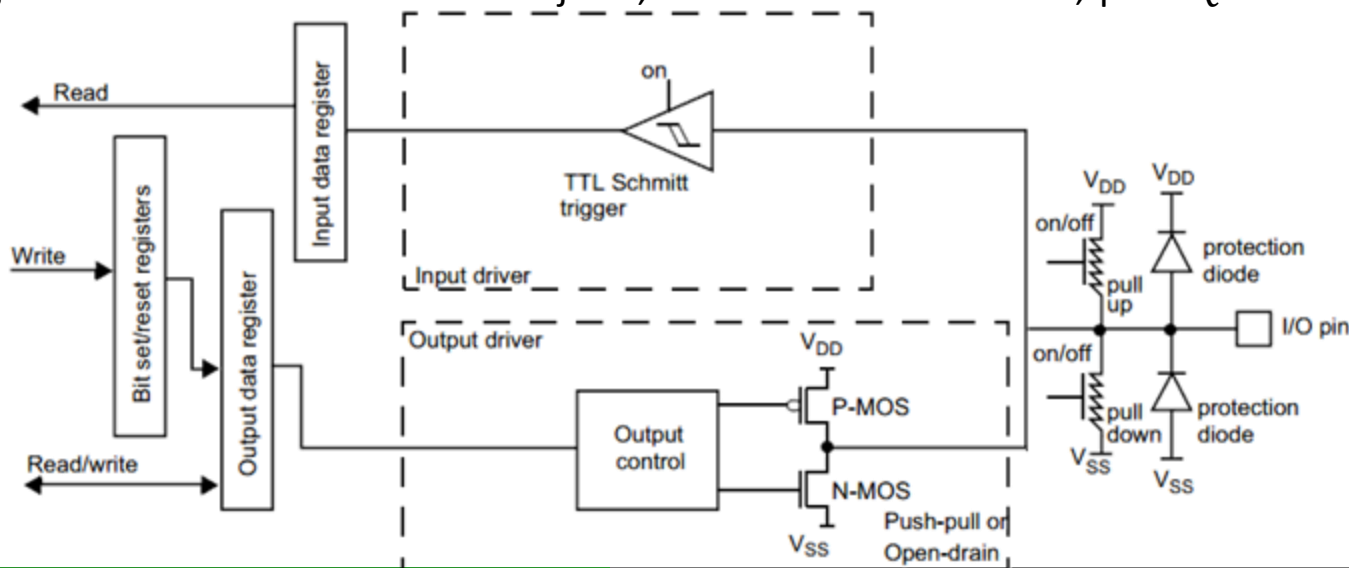
A bemenet beállításai

- VDD_FT, 5V toleráns input, azaz magas szintnek 5V-os feszültséget is elfogad. Emiatt a védődiódák nem a tápfeszültségre (1.8-3.6V, hanem annál magasabb feszültségre vannak kötve (V_{DD_FT})
- A bemeneten egy hiszterézises Schmitt trigger van, a hiszterézis 5% V_{DD} , de min. 100mV.
- A felhúzó/lehúzó ellenállások ki/be kapcsolhatók, értékük kb. 40k Ω
 - A logikai jelszintet rögzítjük, ha nincs „hajtva” a láb, elkerülendő, hogy esetleg az input „lebegjen”. Ez pl. egy IRQ jellegű pin esetén katasztrofális lenne.
 - A nem használt pin-t földre kötjük.



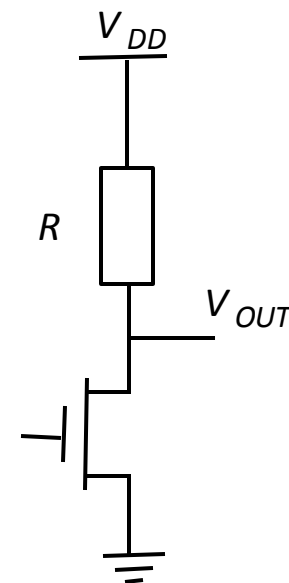
A kimenet beállításai

- A kimenet lehet push-pull
 - Vagy az NMOS, vagy a PMOS van csak nyitva
 - Azaz tápfeszültségre tölt fel, vagy földre húz le.
- Open drain (leánykori nevén open collector – a TTL világban bipoláris tranzisztorok voltak...)
 - csak a NMOS-t vezérlik
 - Így a pin csak 0-t tud kényszeríteni, azaz áramot nyel el.
 - Egy logikai bemenetet több másik IC hajthat, ha van felhúzó ellenállás, pl. \overline{IRQ}



Az Open-drain működés

- Egy NMOS tranzisztor kapcsol.
 - Ha a tranzisztor nincs bekapcsolva, áram nem folyik – a kimenet tápfeszültség
 - Ha a tranzisztor bekapcsolt, akkor a tápfeszültség megoszlik az R ellenálláson és a bekapcsolt tranzisztoron.
 - Lehetőség szerint R nagy, így a kimenet $0V$ környéki kis feszültség lesz, de nem $0V$.
 - Ha a kimenet alacsony szintű, áram folyik a táp és a föld között
 - **Statikus fogyasztást okoz!**



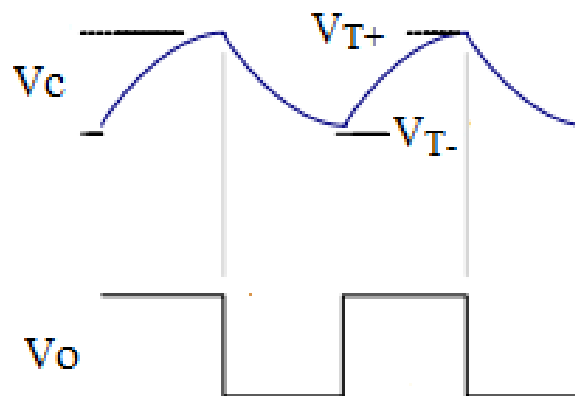
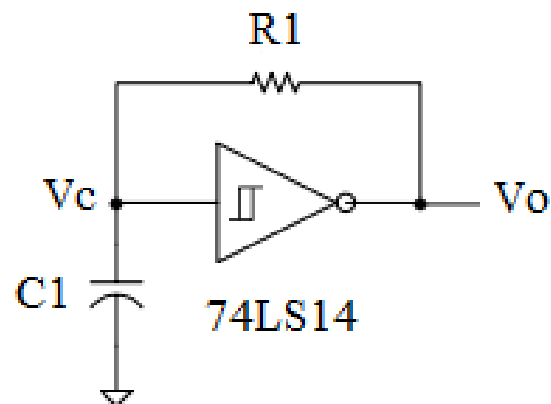
Órajelek

- A digitális áramköreink nagyrészt szinkron működésűek
 - Az aszinkron tervezés, ami handshake jeleken alapul, energiahatékonyabb és gyorsabb is lenne – de nagyon sok nehézséggel kell megküzdeni. (versenyhelyzetek), és nincs megfelelő minőségű logikai szintézer
- Egyre nagyobb felületen kell eljuttatni az órajelet az integrált áramkör felszínén.
- Az órajel:
 - Kapcsolási valószínűsége 1
 - A legmagasabb frekvencián működik
 - A legtöbb cellához kapcsolódik, ASIC és FPGA esetén is.
 - A fogyasztás nagy részét, kb. 40%-át adja.
 - Csökkentés: órajel-kikapuzás (clock gating)
 - Vigyázat! A fogyasztáscsökkentés miatt szinte minden modernebb SoC-ben a perifériák reset után kikapcsolt állapotban vannak. Használat előtt engedélyezni kell az órajelüket!

Órajel előállítása

- Oszcillátor
 - Nincs stabil állapota, periodikus jelet állít elő.
- RC oszcillátor
 - A rezgési frekvenciát ellenállások és kapacitások határozzák meg.
 - Integrált áramkörön belül nem lesz pontos, bár sokat javít a pontosságon a kalibráció. (gyártáskor vagy akár rendszer működése közben)
 - A pontosság nagyjából: 0,01%-1% (ez nem túl jó – és ráadásul nagyon hőmérsékletfüggő)
 - Gyors indulás
 - (addig nem szabad a rendszert elindítani, amíg az oszcillátor nem működik megfelelőképpen, hiszen nincs órajel...)
 - Belső RC-ről indítunk, ha van, megvárjuk, amíg a kristályoszcillátor stabil nem lesz, majd átkapcsolunk.

Egy egyszerű RC oszcillátor



- Schmitt triggerrel felépített kapcsolás.
 - Feltételezzük, hogy kezdetben C1 feszültsége 0V
 - Ekkor az inverter kimenete tápfeszültség, ami az R1 ellenálláson keresztül tölti a kapacitást.
 - Ha C1 feszültsége a felső komparálási szintet meghaladja, az inverter átkapcsol, innentől kezdve C1 kapacitás R1 ellenálláson kisül.
 - Egészen az alsó komparálási szintig, amikor a kimenet újra logikai 1 lesz.

Rezonátorok

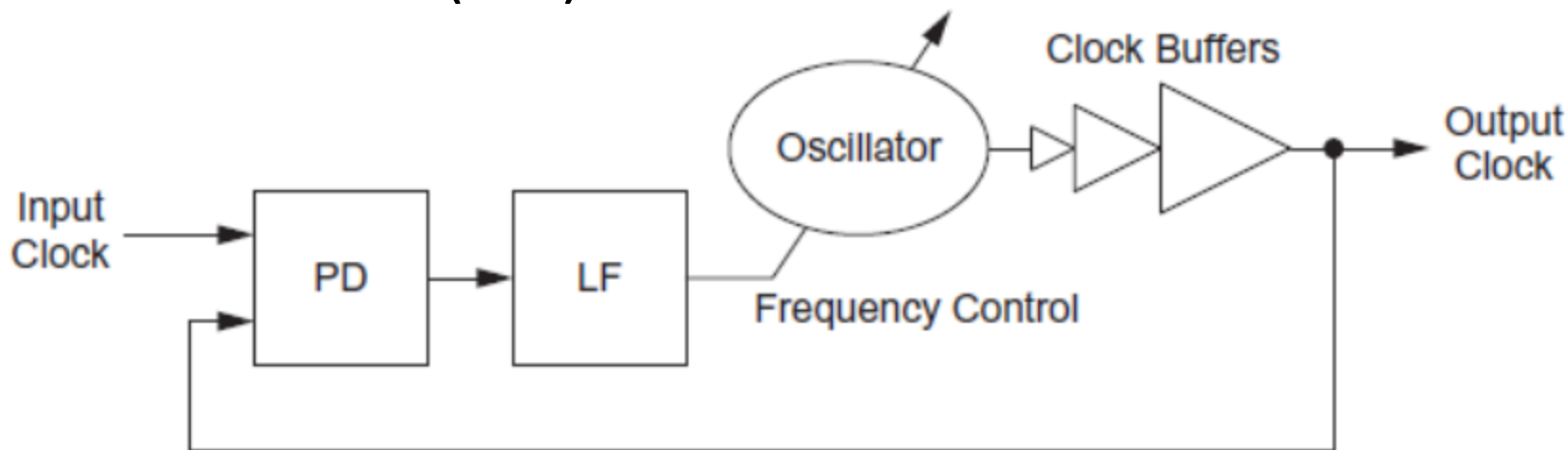
- Kristály (kvarc) vagy kerámiarezonátor
- Piezoelektromos tulajdonságú
 - Mechanikai deformációra (nyomás, hajlítás, nyírás) töltések jelennek meg, illetve elektromos erőterben deformálódik.
 - Ha váltakozó erőterbe helyezzük, rezgésbe jön, ami maximális amplitúdójú a mechanikai rendszer sajátfrekvenciája esetén.
 - Ez utóbbi miatt alkalmas pontos frekvencia előállítására.
- A frekvencia a mechanikai méretekkel állítható, általában
 - $\pm 10..100$ ppm (parts per million)
 - pl. 4MHz-es kristály 10ppm esetén 3 999 960 – 4 000 040Hz közötti frekvenciájú.
 - A hőmérsékletfüggés kicsi, 1..10ppm /°C
 - (néha ez sem megengedhető, ezért a kristályt fűtéssel állandó hőfokon tartják – OCXO)

Szokásos kristályfrekvenciák

- Nagyon sok fajta van, a leglényegesebbek:
 - 32,768kHz – az összes RTC (real time clock) áramkör frekvenciája
 - 8MHz, 10MHz, 20MHz, 25MHz – általános célokra
 - 12MHz – USB, CAN
 - 27MHz – PAL, NTSC televíziótechnika...
 - Stb.

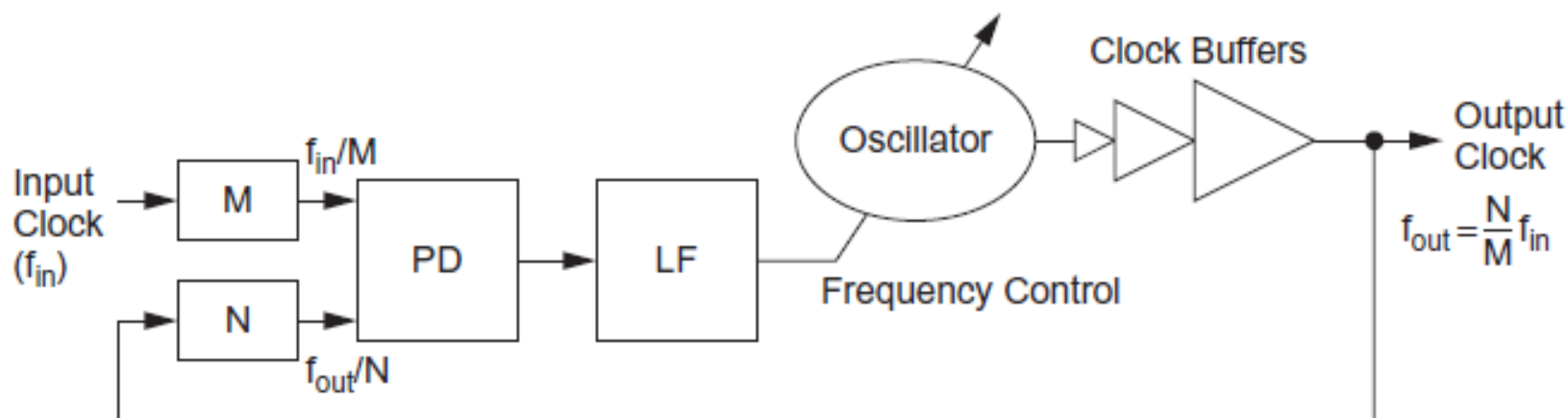


A fáziszárt hurok (PLL)



- Egy szabályozókör, ami a bemenetével megegyező frekvenciájú jelet állít elő.
- Alapelemei:
 - Fázisdetektor és aluláteresztő szűrő: a frekvenciaeltéréssel arányos vezérlő feszültséget állít elő.
 - Feszültségvezérelt oszcillátor – egy egyenfeszültséggel változtatható a frekvencia.

PLL – frekvencia szintézis

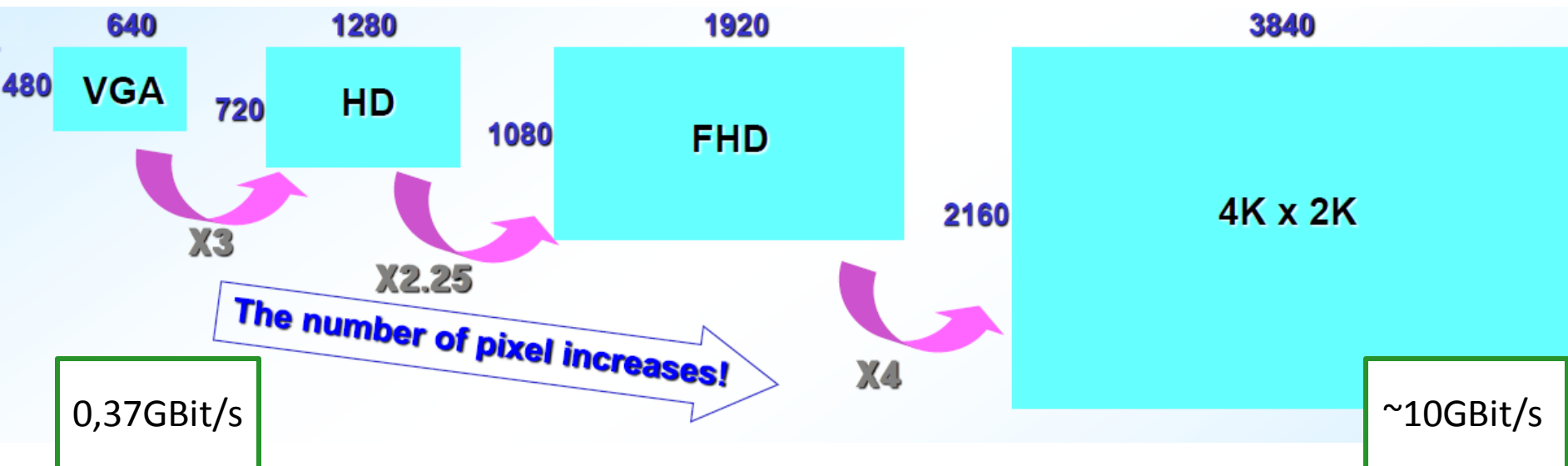


- Azaz az alaphfrekvencia tetszőleges számszorosa előállítható.
 - Így működnek a szorzók
 - Így állítják elő a vezetékes vagy vezeték nélküli kommunikációhoz szükséges pontos csatorna frekvenciákat.

A digitális kommunikáció

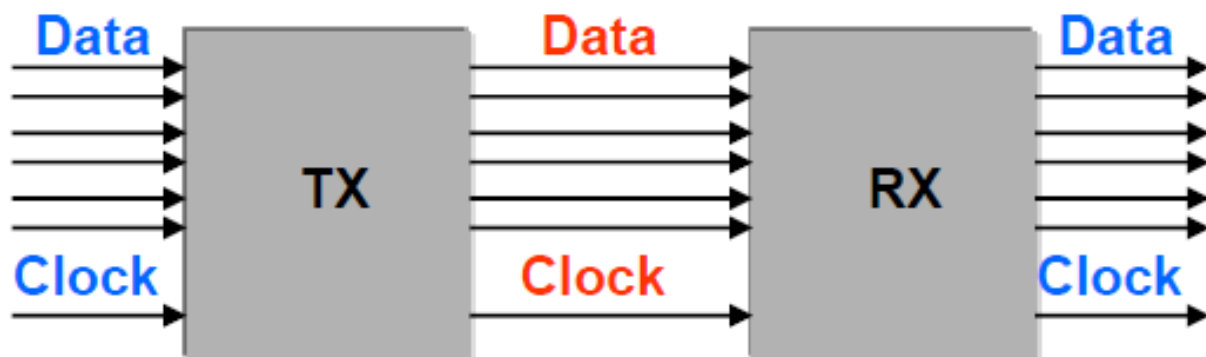
- A szűk keresztmetszet nem az integrált áramkörön belüli kommunikáció.
- A leginkább problémás területek
 - Az integrált áramkörök közötti kommunikáció
 - Az egyes nyomtatott huzalozású kártyák közötti kommunikáció
 - Az eszközök közötti kommunikáció
- Nagy sáv szélesség szükséges
 - De kevés energiával
 - Kis elektromágneses zaj kibocsátással.
 - Lehetőség szerint egyszerű kábelezéssel, vagy **vezeték nélkül!**

Példa: kijelzők



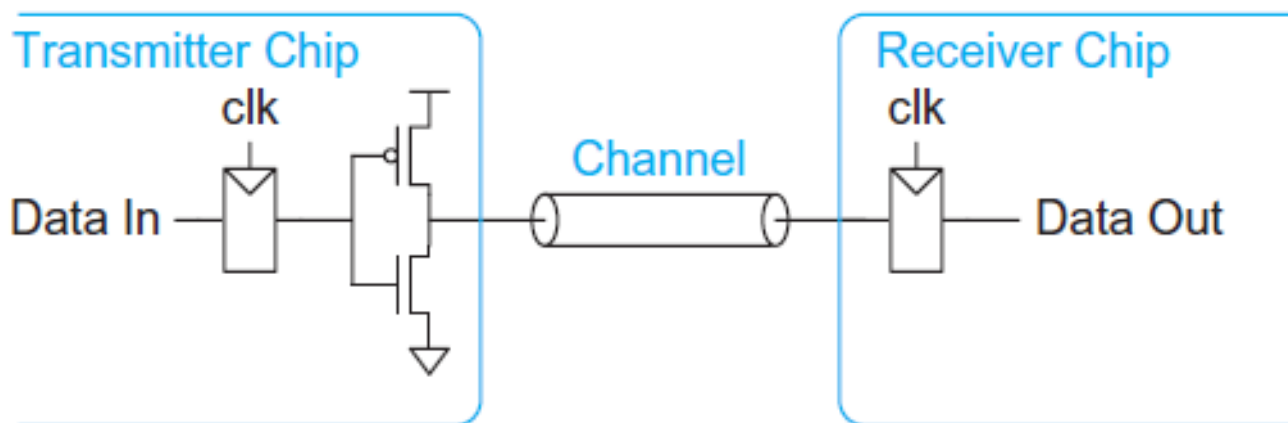
- 27× sávszélességigény
- A VGA monitortól a 4K-ig

Párhuzamos ill. soros busz.



- Közvetlen összeköttetés (nincs összeköttetési réteg, csomag stb.)
- Egyszerűen implementálható
- Órajelet igényel
- Nagy területet foglal, sok összeköttetést igényel

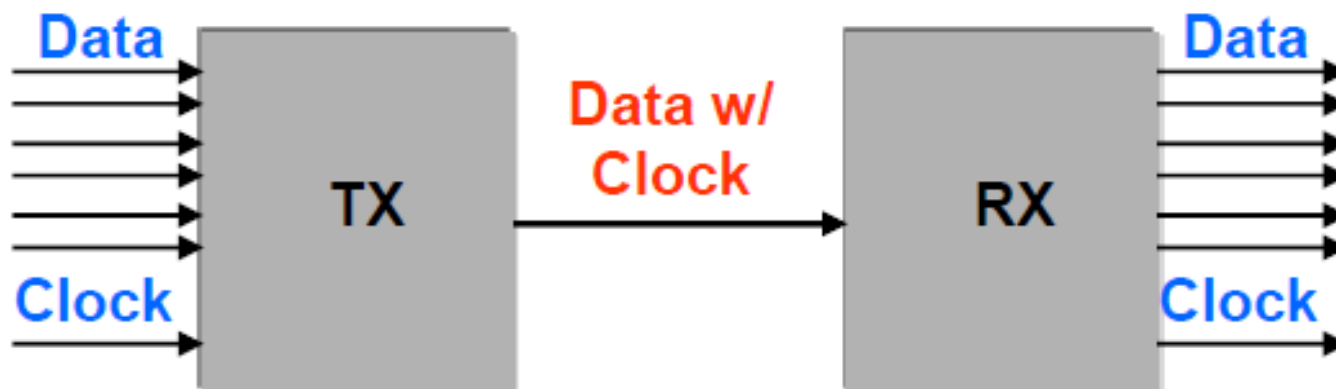
A logikai jel átvitele



- Kis frekvenciákon nincs gond a szokásos 0- VDD szintű logikai jelek átvitelével, azaz az ún. **single ended** átvittel
 - Valahogy úgy, ahogy az ábrán látható.
- A problémák ott kezdődnek, amikor az órajel periódusideje és az összeköttetés terjedési ideje összemérhető.
 - A jel az adott közegben érvényes elektromágneses hullám sebességével terjed
 - Azaz $v = c/\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$

- Például 10cm huzalozás szokásos nyomtatott huzalozású lap esetén
 - $v = 3 \cdot \frac{10^8}{\sqrt{4,35}} = \frac{14,4cm}{ns}$
 - A 10cm-es utat tehát a jel 700ps alatt teszi meg.
 - Ha feltételezzük azt, hogy a fel és lefutás a négyszögjel negyedrésze, akkor a 2,8ns periódusú digitális jel esetén már hullámterjedéses jelenségekkel kell számolni.
 - Ez kb. 350MHz.
- Nagyon pontosan azonos vezeték hosszúságot kell tartani párhuzamos buszok esetén.
- Ellenkező esetben nem egy időben érnek a vevő oldalra!
- Nagy nehézséget okoz a jelintegritás megőrzése, mert az összeköttetések közötti induktív és kapacitív csatolások miatt áthallások keletkeznek.
- Ez a párhuzamos buszok fő problémája

Soros átvitel



- Egyszerű elektromos összeköttetés
- Az órajel az adatba ágyazott
- Nagyobb vezetéktávolságok is elképzelhetők, mert nincs elcsúszás, mint a párhuzamos busz esetében.
- A protokoll jóval bonyolultabb!
 - [Pl. USB 3 specifikáció.](#) (mindössze kb. 500 oldal!)

- Az előzőekben felsoroltak miatt a kommunikáció soros kommunikáció irányába tolódott el.
 - Ha ennek sávszélessége nem elegendő, több soros kommunikációs csatornát használnak egyidejűleg.
 - Differenciális a jelátvitel.
 - Az órajelet az átvitt jelből állítják vissza, vagy szinkronizáló csomag kezdeteket használnak (clock recovery)
- PCI Express, SATA, USB, HDMI, DP stb.
- Gyakorlatilag a memória busz kivételével mindenhol soros átvitelt használnak
- A fizikai réteg:
 - LVDS (Low voltage differential signaling)
 - CML (Current mode logic)



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

IT eszközök technológiája

Tápellátás

Az energia-elosztás

- Az erőművekben megtermelt villamos energiát a villamos energia elosztó rendszer juttatja el a fogyasztóhoz.
- Az elosztás váltakozó áramon történik
 - Történelmi okokból: a váltakozó áram a feszültség átalakítása egyszerűen, **transzformátor**ral megoldható. A szállítás nagyfeszültségen (pl. 750kV) történik, így a vezetéken folyó áram kisebb, ezáltal a szállítás vesztesége, amelyik a vezeték ellenállásából származik $P_V = I^2 R$ kisebb.
- A villamosenergia-elosztó hálózat átlagos felhasználó által hozzáférhető végpontján (a továbbiakban konnektor 😊) az EU-ban 230V **effektív értékű**, 50Hz-es szinuszos váltakozó feszültség mérhető.
 - Megjegyzés: egy váltakozó feszültség effektív értéke az az egyenfeszültség, amely a rákapcsolt ellenálláson ugyanakkora munkát végez. Azaz: $\int_0^T U^2(t) dt = U_{eff}^2 T$, mivel a teljesítmény a feszültség négyzetével arányos. A konnektor feszültségének időfüggvénye tehát $\sqrt{2} \cdot 230 \sin(2\pi 50 t)$, azaz kb. 325V amplitúdójú, 50Hz frekvenciájú szinuszos jel
- Ez az ún. kisfeszültségű hálózat.

Átalakítás

- Váltakozó feszültségről váltakozó feszültségre (AC/AC)
 - **Transzformátor**
 - Pl. csökkentjük vagy növeljük a váltakozó feszültség amplitúdóját
- Váltakozó feszültségről egyenfeszültségre (AC/DC)
 - **Egyenirányító**
- Egyenfeszültségről egyenfeszültségre (DC/DC)
 - **DC/DC konverter**
 - Csökkentjük vagy növeljük a feszültséget.
- Egyenfeszültségről váltakozó feszültségre (DC/AC)
 - **Inverter**
 - Pl. UPS, napelem – hálózati visszatáplálás, vagy akku – háromfázisú elektromos motor
- Az átalakítás hatásfoka: $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$
 - Azaz a kimeneten mért teljesítmény/bemeneti teljesítmény
 - Cél, hogy minél jobban közelítse meg a 100%-ot!

A transzformátor

- Primer oldal: ahol az energia betáplálás történik
- Szekunder oldal: ahová a fogyasztót kapcsoljuk. (felcserélhető...)
- Az ideális transzformátorra:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

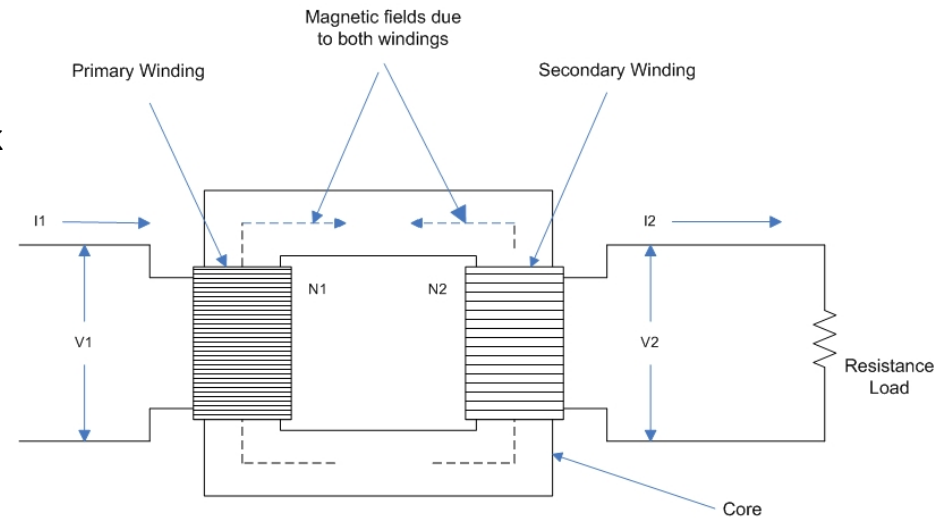
- Azaz a két oldal feszültségének aránya megegyezik a menetszámok arányával

- Azonban a két oldalon a teljesítmény ideális esetben megegyezik, valós esetben pedig a szekunder oldali teljesítmény kisebb mint a primer oldali, a veszteségek miatt.
- Ideális esetben: $U_1 I_1 = U_2 I_2$
- A fel (feszültségnövelés) és le (feszültség csökkentés) transzformálás is gyakran előfordul a gyakorlatban.
- Csak váltakozó áramra működik!

- Az első, energiaátvitelre alkalmas transzformátor:
Bláthy Ottó, Déry Miksa, Zipernowsky Károly, 1885, Ganz Művek

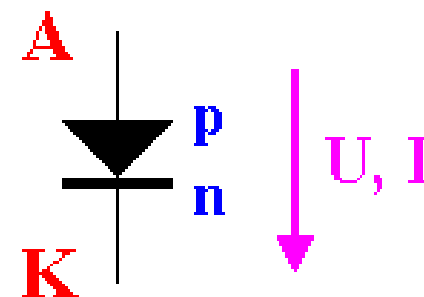
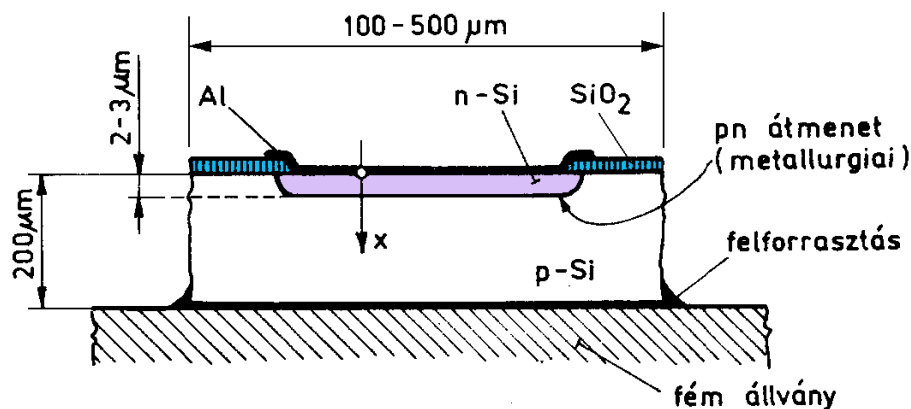


← Modern, toroid transzformátor



A félvezető dióda

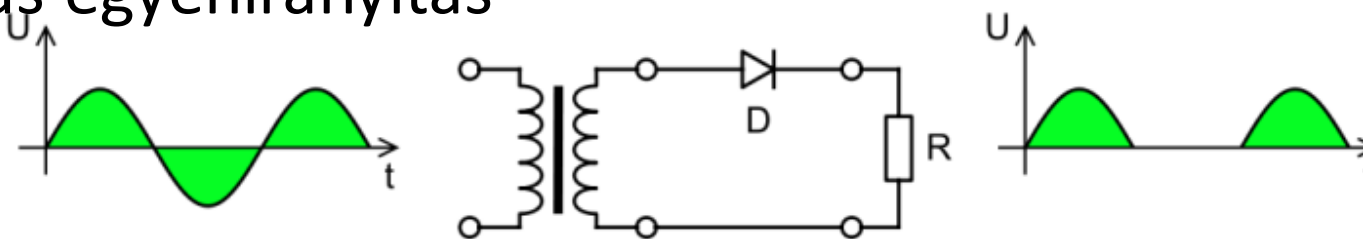
- Egy pn átmenetet tartalmazó eszköz



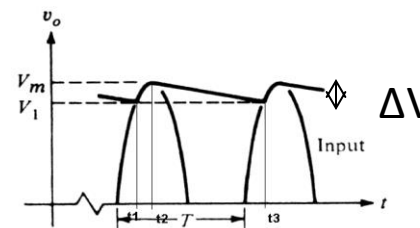
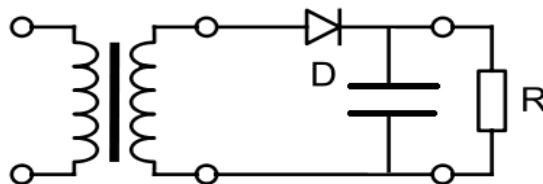
A = anód, K = katód

- Pozitív feszültségekre (p típusú anyag pozitívabb potenciálon, **nyitóirány**), a struktúrán a feszültségtől exponenciálisan függő áram folyik.
- Negatív feszültségekre (p oldal negatívabb, **záróirány**) a struktúrán nagyon kicsi, gyakorlatilag feszültségfüggetlen áram folyik.

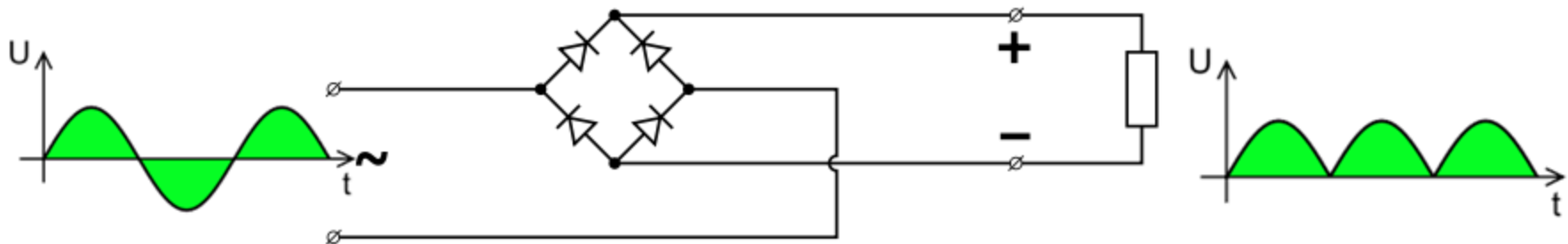
Egyutas egyenirányítás



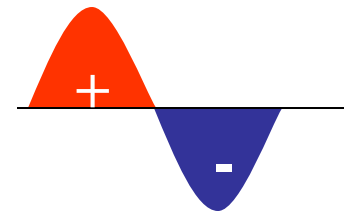
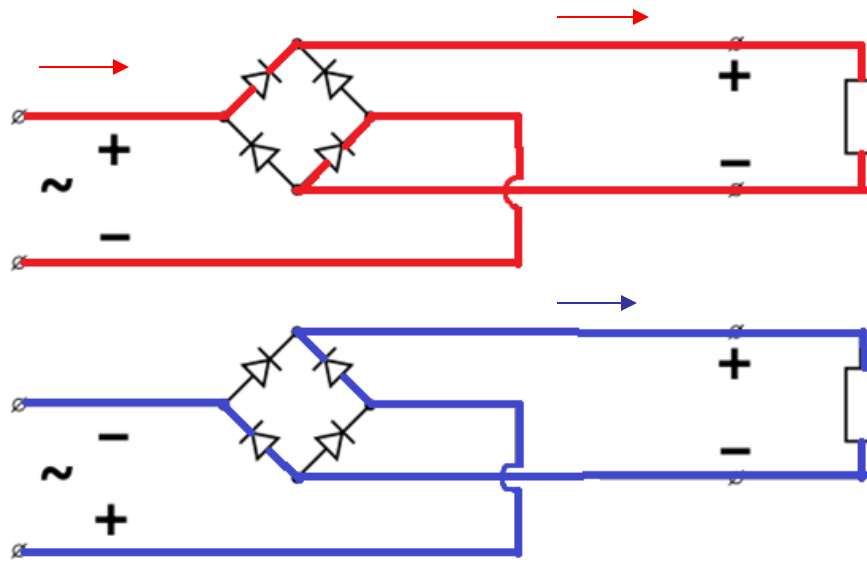
- A dióda csak nyitóirányba vezet, így áram csak a pozitív félperiódusban folyik.
- Problémák:
 - Csak az egyik félperiódusban folyik áram, így a hatásfok nem túl jó.
 - Lüktet – közvetlenül nem alkalmas áramköri felhasználásra, akkutöltésen kívül (ez volt az első felhasználás...) másra nem használható.
- A kapcsolást egy kondenzátorral egészítjük ki.
 - A kapacitásban tárolt töltés biztosítja az áramot a dióda kikapcsolt állapotában.
 - t_1 időpillanatban a transzformátor feszültsége nagyobb, mint a kapacitásé, emiatt a dióda kinyit és a kapacitás csúcsfeszültségre töltődik.
 - t_2 időpillanatban a bemenet feszültsége a kapacitás feszültsége alá csökken. Ekkor a dióda lezár, a terhelés (itt: az R ellenállás) áramát a kondenzátor biztosítja.



A Graetz / híd kapcsolás/ kétutas egyenirányítás



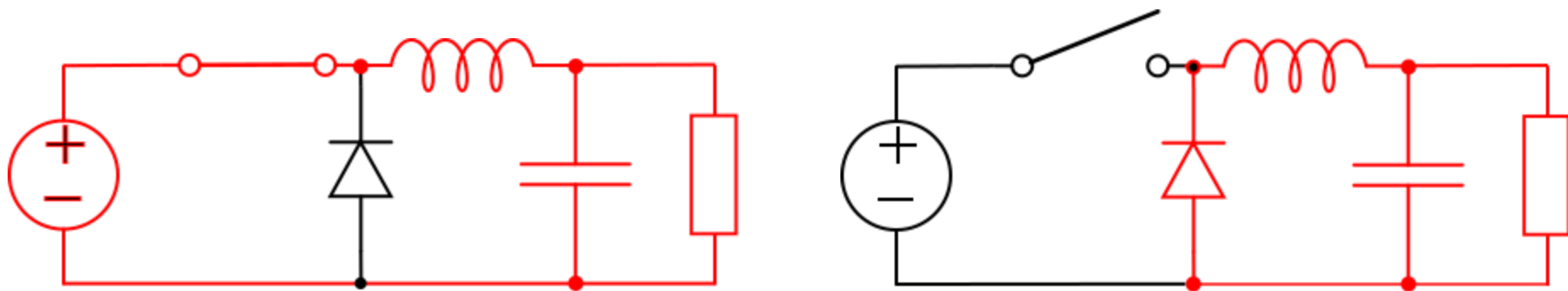
- Négy diódát tartalmaz.
- Egy tokba szerelve kapható.
- Működése: pozitív félperiódusban (piros) illetve negatív félperiódusban (kék)
- Mintegy „abszolút értéket” képez



DC/DC konverzió

- Egyenfeszültség szint változtatása
 - Transzformátor nem alkalmazható.
 - Kis méret, jó hatásfok (> 90%)
 - Kevés alkatrészrel megvalósítható
 - Jól szabályozható
- Alapötlet
 - Tároljunk energiát valamilyen energiatároló elemben.
 - Kapcsolással biztosítsuk azt, hogy a terhelésen folyamatosan áram folyjon, vagy a bemeneti feszültségforrásból, vagy pedig az energiatároló alkatrészből.
 - Egyenirányító diódákkal akadályozzuk meg azt, hogy az áram esetlegesen „rossz irányba” azaz ne a terhelés irányába folyjon.
 - A kapcsoló egy MOS tranzisztor, amit egy δ kitöltési tényezőjű négyszögjellel kapcsolgatunk. A kapcsolás frekvenciája pár 10kHz – pár 100kHz
 - A T periódusidő esetén a kapcsoló δT ideig zárt, $(1 - \delta)T$ ideig pedig nyitott.

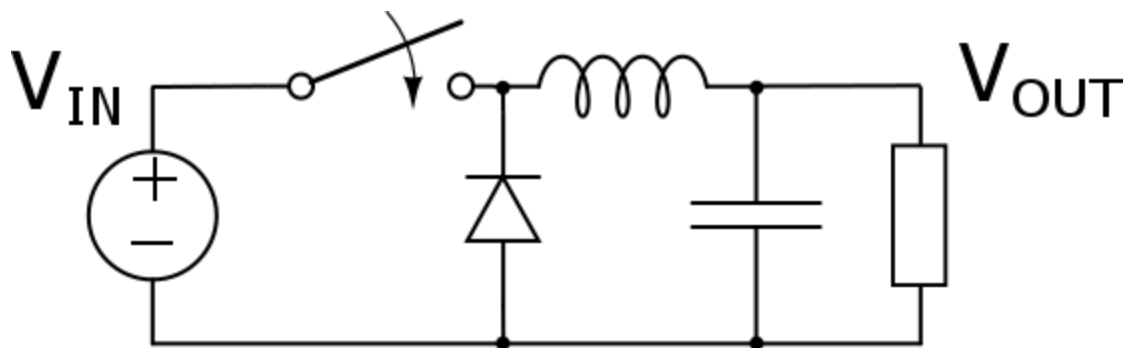
Feszültség csökkentő (Buck, step down) konverter



- Egy MOS tranzisztor, mint kapcsoló, egy tekercs, egy dióda és egy kapacitás... Az ellenállás a terhelést jelképezi.
 - A kapcsoló (MOS tranzisztor) zárásakor egyre növekedő áram indul meg a tekercsben, amely a terhelés és a kapacitás irányába folyik, a dióda zárt.
 - Kiépül az energiatároló mágneses tér a tekercsben.
 - A kapcsoló nyitásakor a tekercs táplálása megszűnik. A mágneses tér kényszeríti az áramot, a tekercs baloldali pontjának feszültsége negatívvá válik, így a dióda nyit, és így zárul az áramkör.
 - A terhelésen a tekercs egyre csökkenő árama folyik tovább.

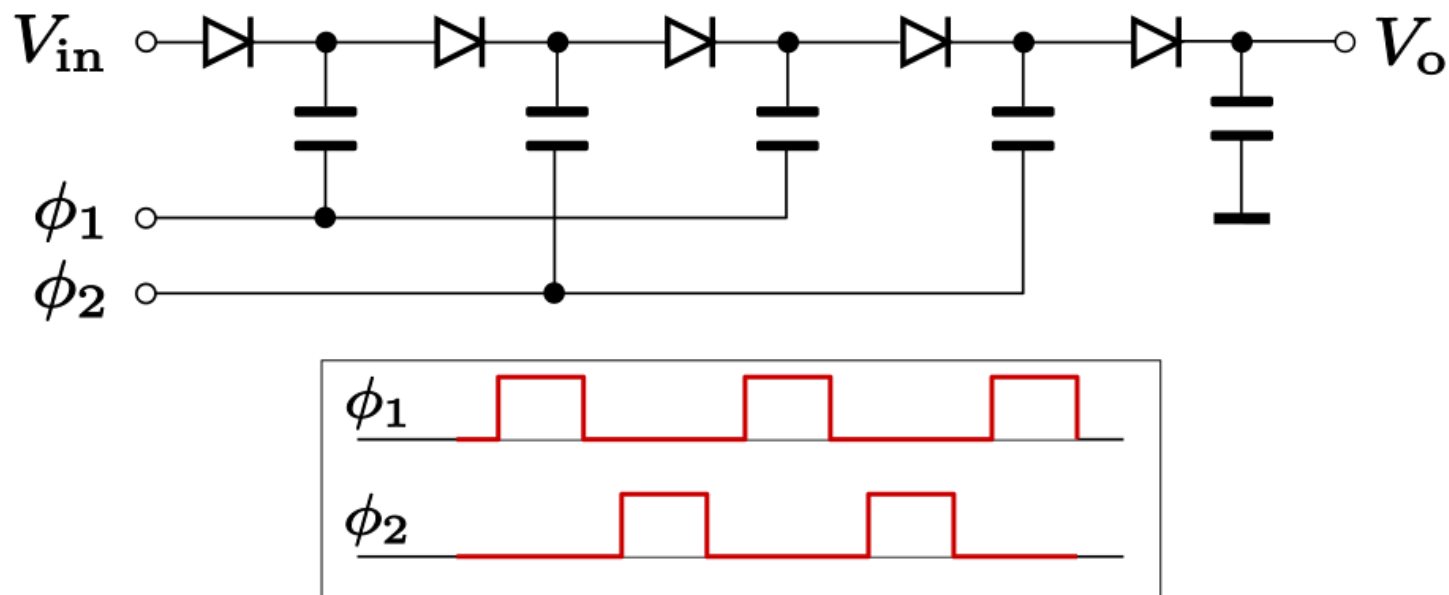
Számítás

- Néhány egyszerűsítéssel élve a számítás **nagyon könnyű**.
 - (ezzel szemben a pontos számítás nem egyszerű...)
- A tranzisztort és a diódát ideális kapcsolónak tekintjük.
- Periódikus egyensúlyban vizsgáljuk az átalakítót.
- Ekkor a tekercs feszültsége és a kondenzátor árama átlagosan 0.
 - Azaz egy periódusban pontosan ugyanannyi energiát veszünk ki az energiatárolókból, mint amennyit beletettünk. (hogy időben ez milyen függvény szerint történik, nem érdekes.)
- A Kirchoff-törvények igazak az átlagos mennyiségekre is!
 - Bizonyítás pl. a huroktörvényre:
 - $$\sum \bar{u}_i = \sum \frac{1}{T} \int u_i(t) dt = \frac{1}{T} \int [\sum u_i(t)] dt = 0$$



- A továbbiakban **átlagokkal** dolgozva.
- A tekercs átlagos feszültsége, ha a kapcsoló zárt, $V_L = V_{IN} - V_{OUT}$, ha a kapcsoló nyitott, akkor pedig $V_L = -V_{OUT}$
- A teljes periódusidőre a tekercs feszültségének átlaga 0, azaz:
- $V_L = \delta(V_{IN} - V_{OUT}) + (1 - \delta)(-V_{OUT}) = 0$
- Azaz: $V_{OUT} = \delta V_{IN}$
- Tehát a **kitöltési tényezővel** szabályozható a kimeneti feszültség.
 - Folyamatos szabályozást igényel, de ez gond nélkül megoldható.
 - Kész katalógus IC-eket árulnak erre a célra.

Töltéspumpa (charge pump)



- Kizárólag kapacitást használ energiatároló elemként
- Tipikusan nagy frekvenciával kapcsolgat.
- CMOS áramkörökben könnyen megvalósítható.

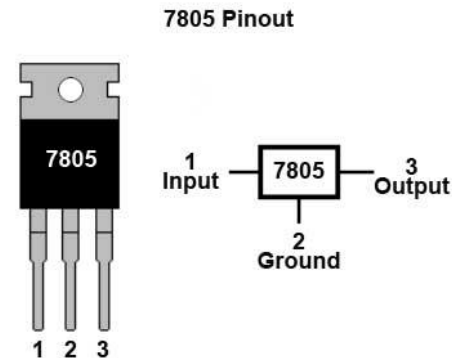
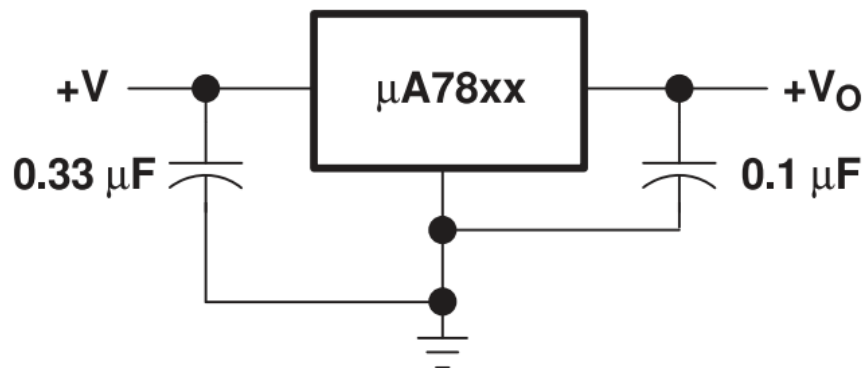
Töltéspumpa használata

- A diódák helyére megfelelően vezérelt tranzfer kapukat rakva teljes mértékben CMOS kompatibilis
 - EEPROM és FLASH memóriákban a törlő, programozó nagy (10-20V) feszültségek előállítására
 - Szinteltoló áramkörökben, pl. MAX232 $\pm 7,5V$ az 5V tápfeszültségből.
 - LCD meghajtók
 - Stb.
- Kevesebb drága alkatrész, egyszerűbb felépítés, mint az induktivitást tartalmazó áramkörök.

Feszültség stabilizálás

- A felsorolt DC-DC átalakítási módszerek nem szolgáltatnak teljesen egyenfeszültséget.
 - A kimeneti ingadozásokat szűrővel (pufferkondenzátorral) csökkenteni lehet, de teljesen nem lehet eltüntetni.
 - Érzékeny (analóg) alkalmazásokban **stabilizálni** kell.
- A feszültség stabilizátorok olyan áramkörök, amelyek egy referencia-feszültség segítségével stabilizálják a kimeneti feszültséget.
- A kimeneti feszültség mindig kisebb, mint a bemeneti.
- Attól függően, hogy a minimális feszültségkülönbség mekkora, beszélünk
 - Normál vagy kis feszültségesesű (LDO – low dropout) stabilizátorról.

Gyakorlatban



- Kész, minimális kiegészítő alkatrészt igénylő integrált áramkörök.
- Pl. a 78XX sorozat (negatív párja a 79XX)

Tápegységek

- Általában az eszközeink kapcsolóüzemű tápegységgel rendelkeznek.
- Bizonyos határok között a bemeneti feszültség mindegy
 - Általában 80-250V stb.
- Ezekben a kimeneti egyenfeszültséget a következő lépésekben állítjuk elő:
 - Egyenirányítás – szűrés – DC/DC átalakítás – stabilizálás (ha szükséges)
- A szűréssel viszont van egy probléma:
 - A tápegység csak akkor vesz fel áramot a hálózathoz, amikor a bemeneti feszültség a pufferkondenzátor feszültségét meghaladta.
 - Azaz az áram alakja közel sem szinuszos.
 - Ez problémát okoz
 - Terheli a hálózatot. (Kb. 25-30%-al túl kell méretezni a hálózatot pl. egy irodaházban)
 - Nagy a felharmonikus tartalma, amivel zajt, zavart juttat visszafelé a hálózatba.

A teljesítménytényező korrekció (PFC)

- Nem használnak pufferkondenzátort a Grätz-híd után, hanem az egyenirányított, közel félszinuszos feszültséget egy Boost konverter megfelelő vezérlésével valódi egyenfeszültséggé alakítják át.
- Ez a feszültség nagyobb mint a bejövő szinusz csúcsfeszültsége, pl. 380-400V között.
- A konvertert úgy vezérlik, hogy az áram pontosan kövesse a bejövő feszültséget
 - A kitöltési tényező változtatásával.
- Pl. <http://www.ti.com/product/ucc29950/datasheet>
- Ára: 75cent...