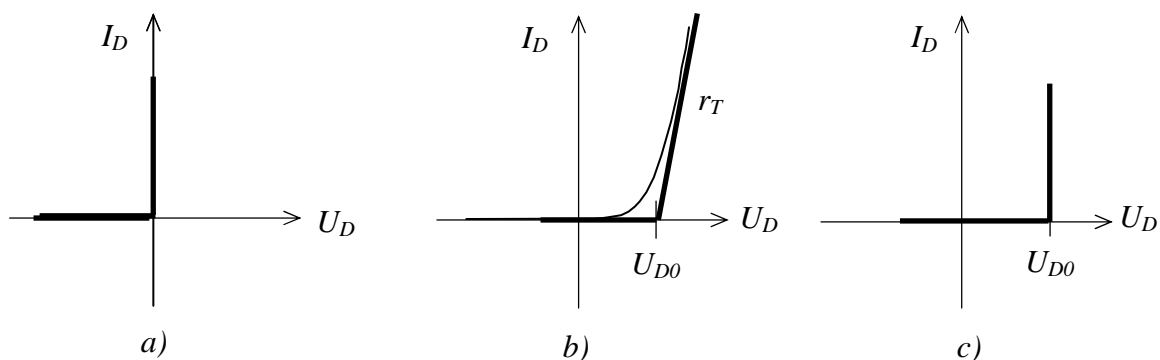


### 3.2.6. Dióda alkalmazások

Az elektronikus berendezések hálózati tápegységei a hálózati (szinuszos jelalakú, 50 Hz frekvenciájú, 230V effektív értékű) váltakozófeszültségből egyenfeszültséget állítanak elő. Erre a célra alkalmazott kapcsolások egyik csoportja a diódás egyenirányítók. Ezek a kapcsolások gyakran transzformátoron keresztül csatlakoznak a hálózathoz. A transzformátor az egyenirányító hálózatról való galvanikus leválasztását és a feszültségillesztést biztosítja.

Azokban az alkalmazásokban, ahol a tápfeszültség nagyságrendekkel nagyobb a dióda nyitóirányú feszültségénél, az áramköri számításokban jó közelítéssel használható az ideális dióda, amely záróirányban szakadásként, nyitóirányban pedig rövidzárként viselkedik (3.12a ábra).

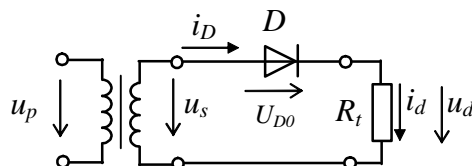


3.12. ábra. A dióda helyettesítő karakterisztikái.

Ha a dióda nyitóirányú feszültsége a tápfeszültség nagyságrendjébe esik, a valóságos diódát az  $U_{D0}$  küszöbfeszültségével és az  $r_T$  nyitóirányú helyettesítő ellenállásával (3.12b ábra), vagy csak az  $U_{D0}$  küszöbfeszültségével és az  $r_T = 0$  közelítéssel (3.12c ábra) lehet helyettesíteni.

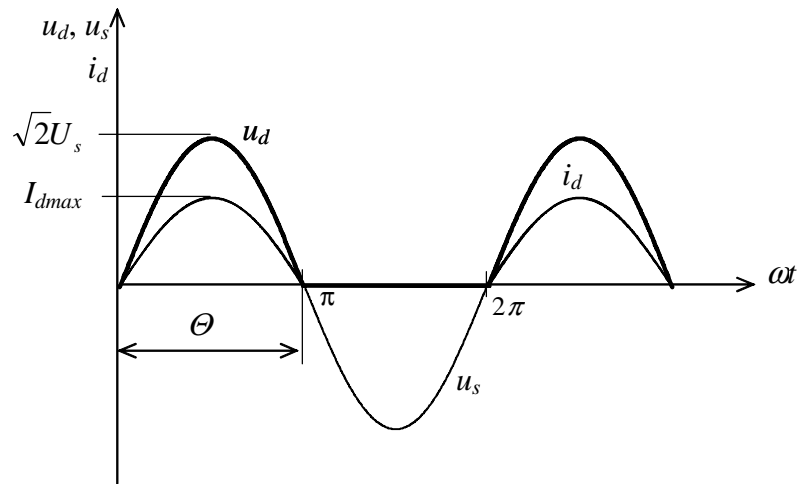
#### 3.2.6.1. Soros diódás egyenirányító

A soros diódás egyenirányító kapcsolási rajza a 3.13. ábrán látható.



3.13. ábra. Soros diódás egyenirányító kapcsolási rajza.

A kapcsolást tápláló  $u_s$  szinuszos feszültség pozitív félperiódusában az ideálisnak feltételezett dióda anódja pozitívabb a katódjánál, így áram folyik rajta és az  $u_s$  tápfeszültség a terhelésre jut. A terhelés ohmos jellege miatt az  $i_d$  kimeneti áram arányos a terhelésre jutó  $u_d$  kimeneti feszültséggel. A pozitív félperiódus végén a dióda  $i_D$  árama nullára csökken, a tápfeszültség negatív félperiódusa jut a diódára, amely ekkor lezár, a terhelésen nem folyik áram, nincs rajta feszültségesés. Ebben az esetben a dióda vezetési ideje megegyezik a tápfeszültség félperiódus idejével, a vezetési szöge  $\Theta = 180^\circ$ . A kapcsolat időfüggvényei ideális dióda alkalmazásával a 3.14. ábrán láthatók.



3.14. ábra. Soros diódás egyenirányító időfüggvényei ideális dióda alkalmazása esetén.

A kimeneti feszültség középértéke:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_s \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}U_s}{\pi} \cong 0,45U_s, \quad (3.19)$$

ahol  $U_s$  a tápfeszültség effektív értéke.

Valóságos dióda esetén a dióda anódja akkor pozitívabb a katódjánál, ha a tápfeszültség értéke pozitív irányban eléri, majd meghaladja a dióda  $U_{D0}$  küszöbfeszültségének értékét. Ekkor a dióda vezet, a terhelés  $u_d$  feszültsége a tápfeszültség és a dióda nyitóirányú feszültségének különbsége. Ha a tápfeszültség értéke az  $U_{D0}$  küszöbfeszültség értéke alá csökken, a dióda árama ismét nulla lesz, lezár. Ebben az esetben a dióda áramvezetési ideje kisebb a tápfeszültség félperiódus idejénél. A kapcsolat időfüggvényei 3.15. ábrán láthatók.

A dióda vezetési szöge:

$$\Theta = \pi - 2\beta. \quad (3.20)$$

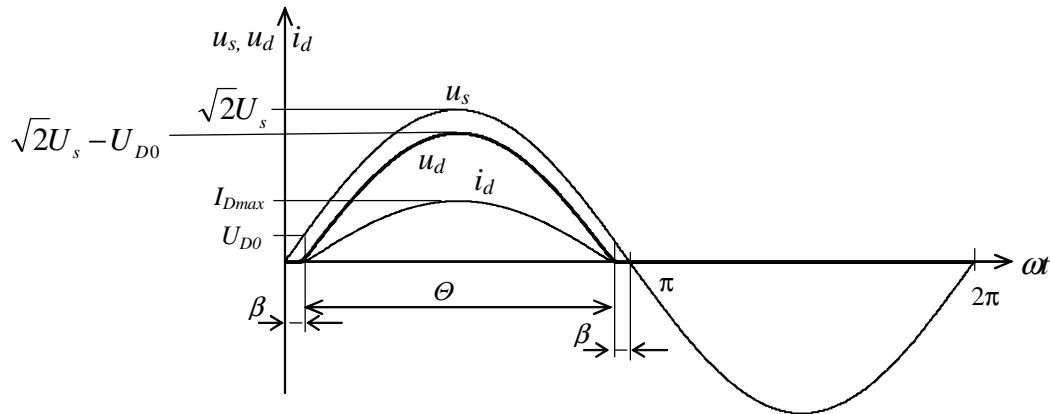
A  $\beta$  szög a tápfeszültség nullátmenete és a küszöbfeszültség értékű pontja között mérhető szög, amely a

$$\sqrt{2}U_s \sin \beta = U_{D0} \quad (3.21)$$

egyenletből a

$$\beta = \arcsin \frac{U_{D0}}{\sqrt{2}U_s} \quad (3.22)$$

összefüggéssel határozható meg.



3.15. ábra. Soros diódás egyenirányító időfüggvényei valóságos diódák esetén.

A kimeneti feszültség középértéke:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\beta}^{\pi-\beta} (\sqrt{2}U_s - U_{D0}) \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}U_s - U_{D0}}{2\pi} (-\cos(\pi - \beta) + \cos \beta). \quad (3.23)$$

A dióda maximális árama:

$$I_{Dmax} = \frac{\sqrt{2}U_s - U_{D0}}{R_t}. \quad (3.24)$$

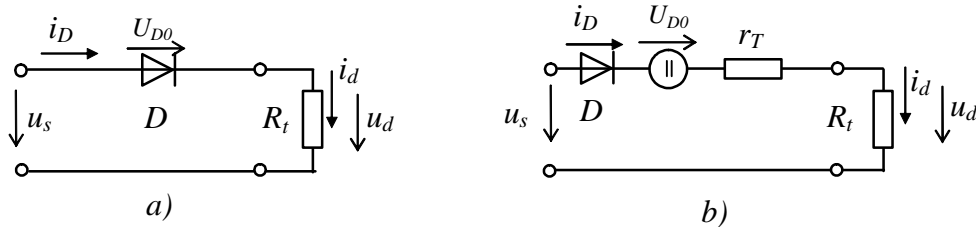
A diódára záróirányban a hálózati feszültség negatív félperiódusa jut, így a dióda zárófeszültségének csúcsértéke a tápfeszültség csúcsértékével egyezik meg:

$$U_{DZmax} = \sqrt{2}U_s. \quad (3.25)$$

A katalógusból választott dióda letörési feszültségének kb. 50 %-kal kell nagyobbak lennie ennél az értéknél.

### A soros diódás egyenirányító transzfer karakterisztikája

A dióda karakterisztikájának törtvonalas közelítésének (3.12b ábra) felhasználásával a 3.16b ábrán a soros diódás egyenirányító helyettesítő képe látható.



3.16. ábra. Soros diódás egyenirányító a) kapcsolása és b) helyettesítő képe.

A helyettesítő kép alapján az  $u_d$  kimeneti feszültség az

$$u_d = (u_s - U_{D0}) \frac{R_t}{R_t + r_T} \quad (3.26)$$

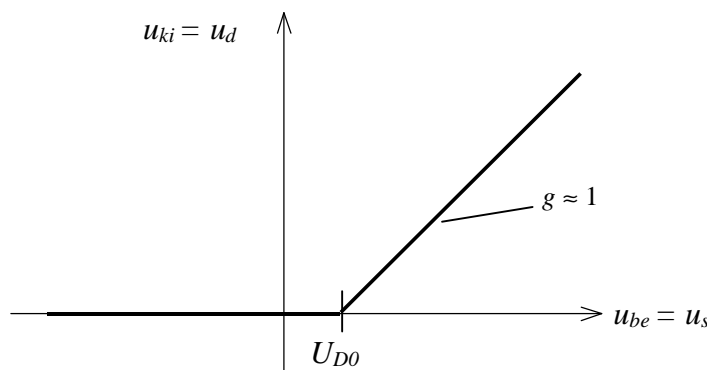
összefüggéssel határozható meg. A transzfer karakterisztika vízszintes tengelyén ábrázolt bemeneti jel a kapcsolást tápláló  $u_s$  feszültség, a függőleges tengelyen ábrázolt kimeneti jelnek az egyenirányító  $u_d$  feszültsége felel meg. A karakterisztika meredekségét az

$$\frac{u_d}{u_s - U_{D0}} = \frac{R_t}{R_t + r_T} \quad (3.27)$$

összefüggés adja meg. Mivel a dióda  $r_T$  helyettesítő ellenállása általában nagyságrenddel kisebb a terhelés  $R_t$  ellenállásánál, a karakterisztika meredeksége:

$$g = \frac{R_t}{R_t + r_T} \approx 1. \quad (3.28)$$

A kapcsolat transzfer karakterisztikája látható a 3.17. ábrán.

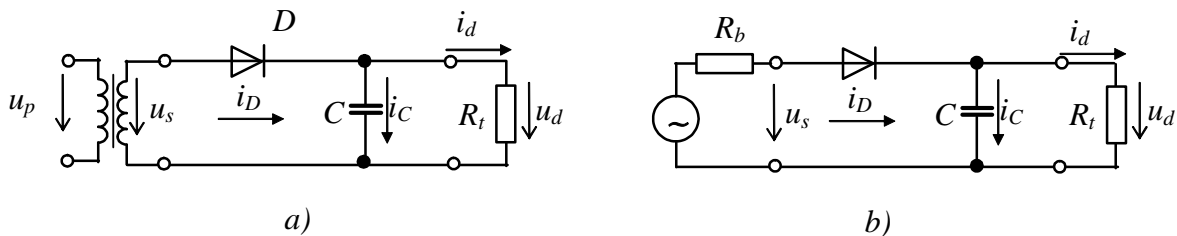


3.17. ábra. Soros diódás egyenirányító transzfer karakterisztikája.

### 3.2.6.2. Soros diódás csúcsegyenirányító

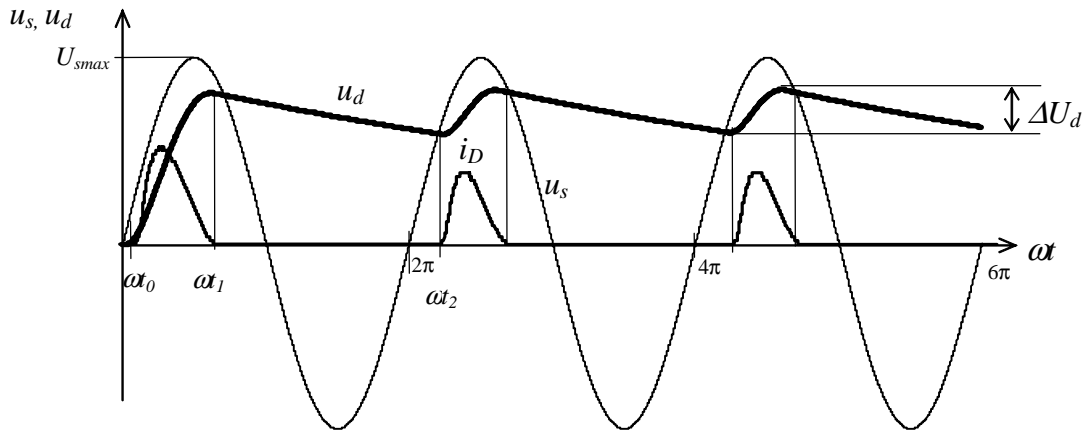
A soros diódás egyenirányító  $u_d$  kimeneti feszültsége félszínusz hullámformájú, lüktető egyenfeszültség, amely sok esetben nem kielégítő a terhelés számára. Csökkenthető az egyenfeszültség lüktetése, hullámossága a terheléssel párhuzamosan kapcsolt nagy értékű kapacitással (3.18. ábra). Ideális alkatelemeket feltételezve, üresjárásban, a kondenzátor a tápfeszültség csúcserőkére töltődik fel, ezért a kapcsolást csúcsegyenirányítónak nevezik.

A soros diódás csúcsegyenirányító kapcsolási rajza látható a 3.18a ábrán. A hálózati transzformátor szekunder üresjárási feszültsége helyettesíthető egy  $u_s$  feszültségű szinuszos generátorral, amelynek  $R_b$  belsőellenállása a szekunder oldalra redukált eredő ellenállás, amely tartalmazza a dióda soros ellenállását is. (3.18b ábra).



3.18. ábra. Soros diódás csúcsegyenirányító kapcsolási rajza a) transzformátorral, b) feszültséggenerátorral táplálva.

Az első bekapcsoláskor a kondenzátor töltetlen, így amikor a tápfeszültség eléri a dióda nyitóirányú feszültségét (a 3.19. ábrán az  $\omega t = \omega t_0$  pillanat), a diódán áram folyik, a kondenzátor töltődni kezd és ez a feszültség megjelenik a terhelésen is. Ha a tápfeszültség pillanatértéke kisebb lesz a kondenzátor és a dióda nyitóirányú feszültségének összegénél, ( $\omega t = \omega t_1$  pillanat), a dióda árama nulla lesz, zárófeszültség jut rá és kikapcsol. Ekkor a kondenzátor a terhelés ellenállásán keresztül kisül, a kimeneti feszültség a  $\tau = R_t C$  időállandójú exponenciális függvény szerint csökken. Ha a tápfeszültség pillanatértéke nagyobb lesz a kondenzátor és a dióda nyitóirányú feszültségének összegénél, ( $\omega t = \omega t_2$  pillanat) a dióda újra vezetni kezd, a kimeneti feszültség ismét növekszik. A folyamat periódikusan ismétlődik. A diódán a legnagyobb áramcsúcs az első bekapcsoláskor van, majd néhány periódus után állandósul az értéke.



3.19. ábra. Soros diódás csúcsegyenirányító időfüggvényei.

A kimeneti feszültség középértékét, hullámosságát, a dióda vezetési idejét adott hálózati frekvencia és tápfeszültség esetén a kondenzátor, valamint a terhelő ellenállás és a tápláló generátor belső ellenállásának értéke határozza meg. A bonyolult, transzcendens egyenletekre vezető számítások helyett használható közelítő képletek egyszerűsítések alkalmazásával érhetők el.

Ilyen egyszerűsítések:

- a  $\tau = R_t C$  szorzat konstans és nagyságrenddel nagyobb a tápfeszültség periódusidejénél ( $R_t C \gg T$ ),
- a kisütési idő a periódusidővel közelítőleg megegyezik,
- a dióda ideális,
- ha a dióda nem vezet, akkor a kondenzátor  $\tau = R_t C$  időállandó szerint a terhelő ellenálláson keresztül sül ki, exponenciális függvény szerint, amely függvény az  $R_t C \gg T$  viszony miatt lineáris egyenessel közelíthető,
- a kimeneti feszültség  $\Delta U_d$  hullámossága kicsi (ha  $R_t C \gg T$ ), ezért a terhelő áram közel állandó.

A kimeneti feszültség értéke ideális esetben, üresjárásban a tápfeszültség csúcserőértékével egyezik meg:

$$U_{dii} = \sqrt{2} U_s. \quad (3.29)$$

A terhelt kimeneti egyenfeszültség

$$U_d = U_{dii} \left( 1 - \sqrt{\frac{R_b}{R_t}} \right), \quad (3.30)$$

ahol  $U_s$  a tápforrás feszültségének effektív értéke,  
 $R_b$  a tápforrás belső ellenállása,  
 $R_t$  a terhelés ellenállása.

A kimeneti egyenáram:

$$I_d = \frac{U_d}{R_t} \quad (3.31)$$

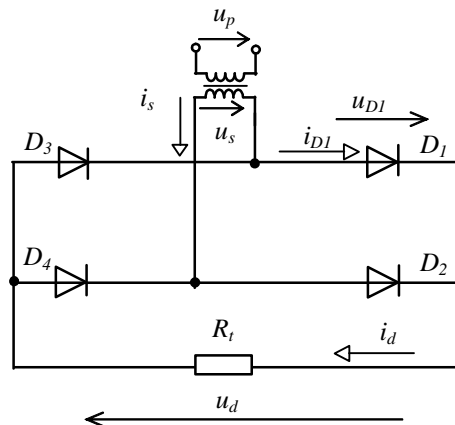
A kimeneti feszültség hullámosságának csúcstól-csúcsig értéke:

$$\Delta U_d \approx \frac{I_d}{C \cdot f}, \quad (3.32)$$

ahol  $I_d$  a kimeneti egyenáram középértéke,  
 $C$  a szűrőkondenzátor kapacitása,  
 $f$  a kimeneti feszültség frekvenciája, a soros diódás csúcsegyenirányító esetén megegyezik a hálózati frekvenciával.

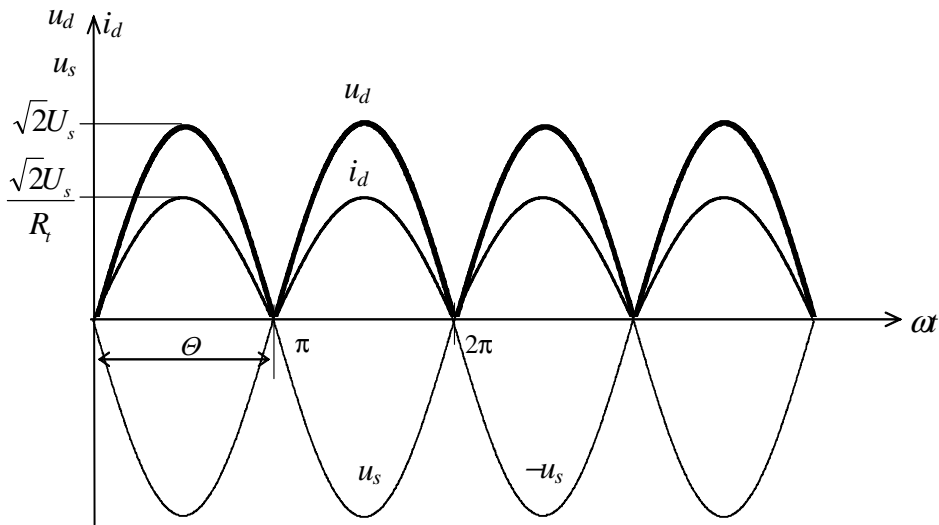
### 3.2.6.3. Hídkapcsolású egyenirányító

Az egyenfeszültség nagyságának növelése és hullámosságának csökkentése az ütemszám növelésével is elérhető. Ez gyakran a 3.20. ábrán látható egyfázisú kétutas kétütemű, másképpen hídkapcsolású, vagy *Graetz*-kapcsolású egyenirányítóval valósítható meg.



3.20. ábra. Hídkapcsolású egyenirányító kapcsolási rajza.

A hálózati feszültség pozitív félperiódusában a  $D_1$  és  $D_4$ , a negatív félperiódusában a  $D_2$  és  $D_3$  diódák vezetnek, és a terhelésre kapcsolják a hálózati feszültséget. A terhelésen egyenáram folyik, a kimeneti feszültség mindkét félperiódusban pozitív szinuszfélhullám (3.21. ábra.).



3.21. ábra. Hídkapcsolású egyenirányító időfüggvényei ellenállás terhelés esetén, ideális diódákkal.

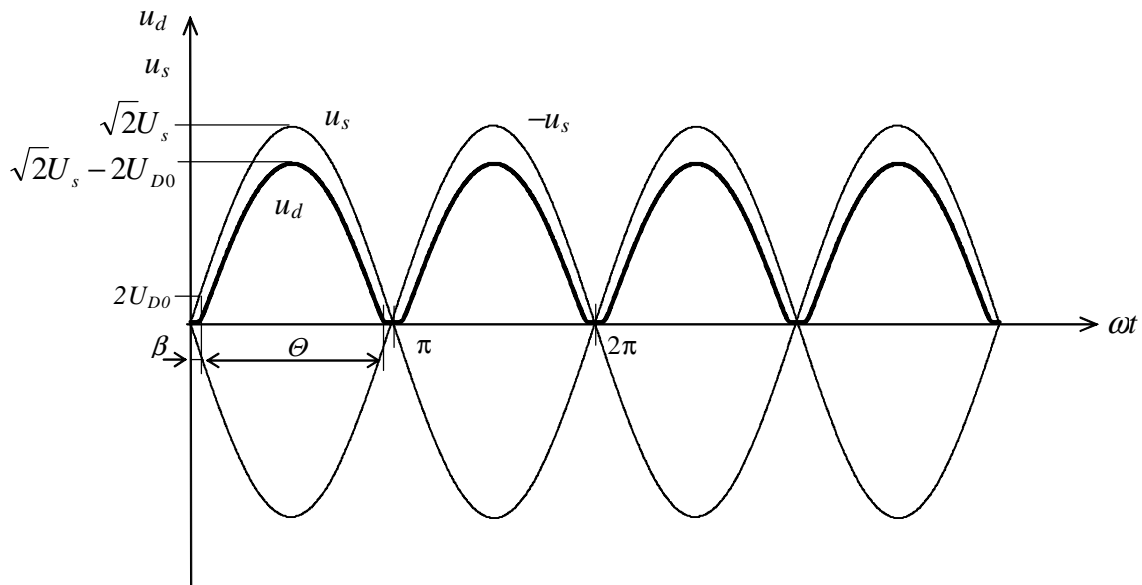
A kimeneti feszültség középértéke:

$$U_d = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_s \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2}U_s}{\pi} \cong 0,9U_s. \quad (3.33)$$

A diódák vezetési szöge:  $\Theta = 180^\circ$ , a zárófeszültségük:

$$U_{DZ \max} = \sqrt{2}U_s. \quad (3.34)$$

Valóságos diódát feltételezve, a kimeneti feszültség mindkét félperiódusban két dióda nyitóirányú feszültségével kisebb, mint a tápfeszültség. A kapcsolás időfüggvényei ebben az esetben a 3.22. ábrán láthatók.



3.22. ábra. Hídkapcsolású egyenirányító időfüggvényei valóságos diódák esetén.



A diódák vezetési szöge:

$$\Theta = \pi - 2\beta \quad (3.35)$$

A  $\beta$  szög a tápfeszültség pozitív nullátmenete és a  $2U_{D0}$  pillanatértéke között mérhető szög, amely a

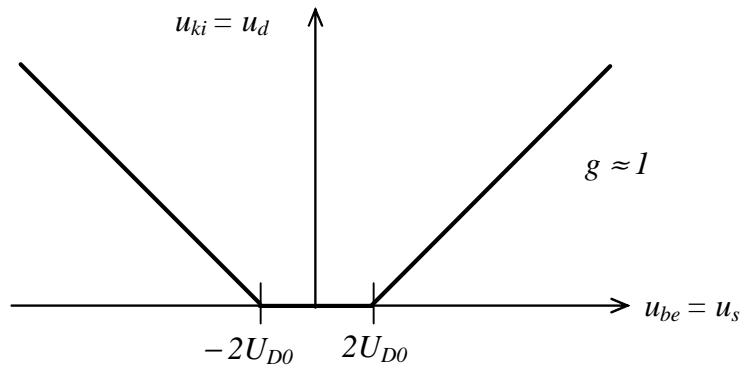
$$\beta = \arcsin \frac{2U_{D0}}{\sqrt{2}U_s} \quad (3.36)$$

összefüggéssel határozható meg.

A kimeneti feszültség középértéke:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\beta}^{\pi-\beta} (\sqrt{2}U_s - 2U_{D0}) \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}U_s - 2U_{D0}}{2\pi} (-\cos(\pi - \beta) + \cos \beta). \quad (3.37)$$

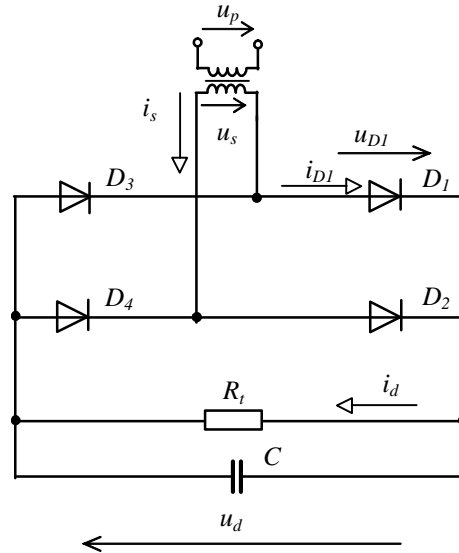
A kapcsolás transzfer karakterisztikája látható a 3.23. ábrán.



3.23. ábra. Hídkapcsolású egyenirányító transzfer karakterisztikája.

### 3.2.6.4. Hídkapcsolású csúcsegyenirányító

A hídkapcsolású egyenirányító kimeneti feszültségének hullámossága csökkenthető a terheléssel párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral. A hídkapcsolású csúcsegyenirányító kapcsolási rajza látható a 3.24. ábrán.



3.24. ábra. Hídkapcsolású csúcsegyenirányító kapcsolási rajza.

A kimeneti feszültség középfértéke üresjárásban, ideális áramköri elemeket feltételezve, a tápfeszültség csúcstértékével egyezik meg:

$$U_{d\bar{u}} = \sqrt{2}U_s. \quad (3.38)$$

A terhelt kimeneti egyenfeszültség középfértéke a közelítő összefüggések szerint az

$$U_d = U_{d\bar{u}} \left( 1 - \sqrt{\frac{R_b}{R_t}} \right), \quad (3.39)$$

kifejezéssel határozható meg,

ahol  $U_{d\bar{u}}$  a terhelés feszültségének középfértéke üresjárásban,

$R_b$  a tápforrás belső ellenállása,

$R_t$  a terhelés ellenállása.

A kimeneti egyenáram középfértéke:

$$I_d = \frac{U_d}{R_t}. \quad (3.40)$$

A kimeneti feszültség hullámosságának csúcstól-csúcsig mért értékét a

$$\Delta U_d \approx \frac{I_d}{C \cdot f_d}, \quad (3.41)$$

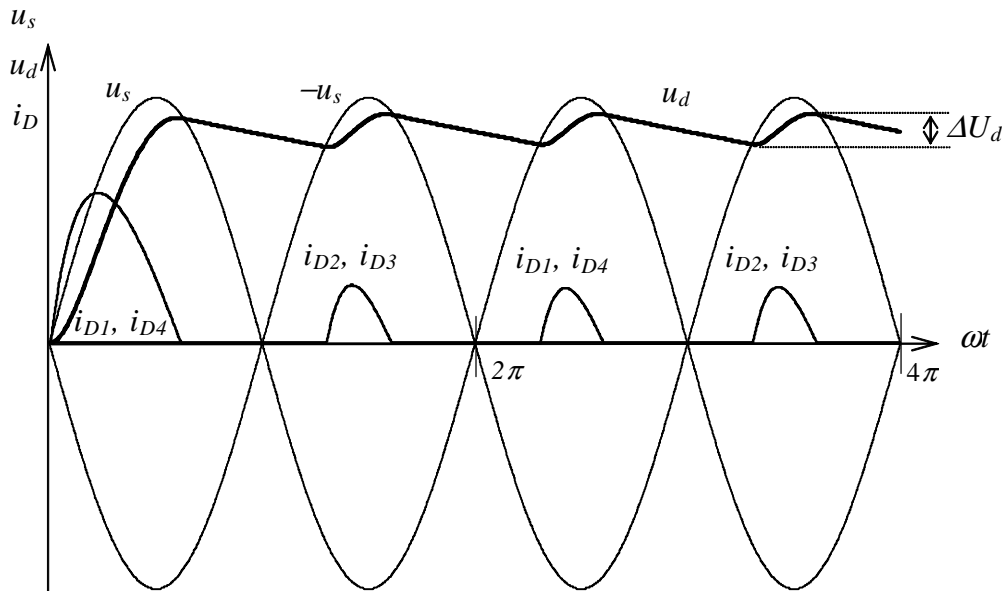
közelítő képlettel lehet meghatározni,

ahol  $I_d$  a kimeneti egyenáram középértéke,

$C$  a kondenzátor kapacitása,

$f_d$  a hullámos kimeneti feszültség frekvenciája, amely ebben a kapcsolásban a hálózati frekvencia kétszerese.

A kétütemű egyenirányítás miatt azonos viszonyok esetén a kimeneti feszültség frekvenciája kétszer akkora, a feszültség hullámossága fele akkora, mint a soros diódás csúcsegyenirányítóé.



3.25. ábra. Hídkapcsolású csúcsegyenirányító kapcsolás időfüggvényei.

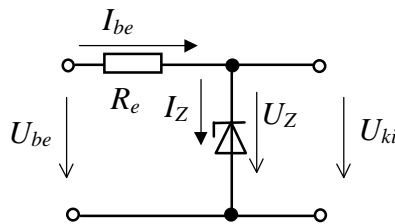
A diódák zárófeszültségének maximális értéke üresjárásban, ideális diódákat feltételezve:

$$U_{DZ\max} = 2\sqrt{2}U_s. \quad (3.42)$$

A hídkapcsolású csúcsegyenirányító időfüggvényei láthatók a 3.25. ábrán.

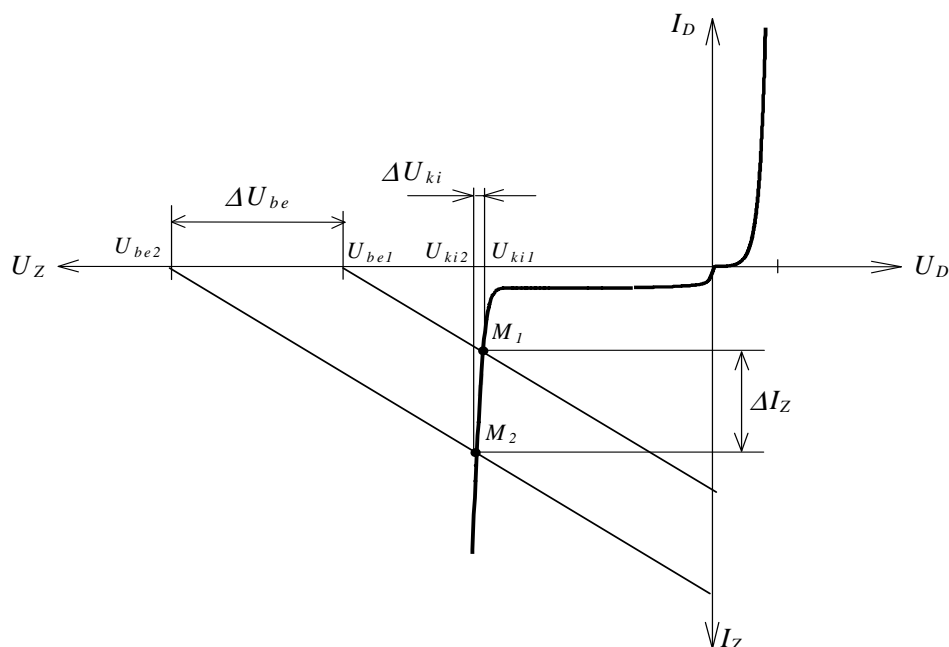
### 3.2.6.5. Zener diódás feszültségstabilizátor

A Zener diódás feszültségstabilizátor kapcsolási rajza látható a 3.26. ábrán.



3.26. ábra. Zener diódás feszültségstabilizátor.

A Zener dióda munkapontját a záróirányú karakterisztika áramtengellyel csaknem párhuzamos szakaszára kell beállítani, így a kapcsolás az  $U_{be}$  bemeneti nem állandó egyenfeszültségből közel állandó kimeneti egyenfeszültséget állít elő.



3.27. ábra. A Zener diódás feszültségstabilizátor kapcsolás munkapontjának szerkesztése.

A munkapont meghatározására alkalmazható a diódánál ismertetett szerkesztési módszer (3.27. ábra). Az  $U_{be1}$  értékű feszültséggel táplált kapcsolás  $R_e$  előtét ellenállásának karakterisztikája és a Zener dióda karakterisztikájának metszéspontja az  $M_1$  munkapont. Ehhez a munkaponthoz az  $U_{ki1}$  kimeneti feszültség tartozik. Ha a bemeneti feszültség  $U_{be2}$  értékre változik, az  $M_2$  pontban alakul ki az új munkapont, amelyhez az  $U_{ki2}$  kimeneti feszültség tartozik. A Zener karakterisztika meredeksége miatt a bemeneti feszültség változása csak kis mértékű kimeneti feszültségváltozást eredményez, tehát a kapcsolás közel állandó, stabil kimeneti feszültséget biztosít.

Az előtét ellenállás értékét úgy kell megválasztani, hogy a Zener diódán disszipálódó teljesítmény ne haladja meg a katalógusban megadott megengedett értéket, ugyanakkor a Zeneren átfolyó áram nagyobb legyen a  $I_{zmin}$  minimális, és kisebb az  $I_{zmax}$  maximális értéknél. A Zener dióda teljesítménye:

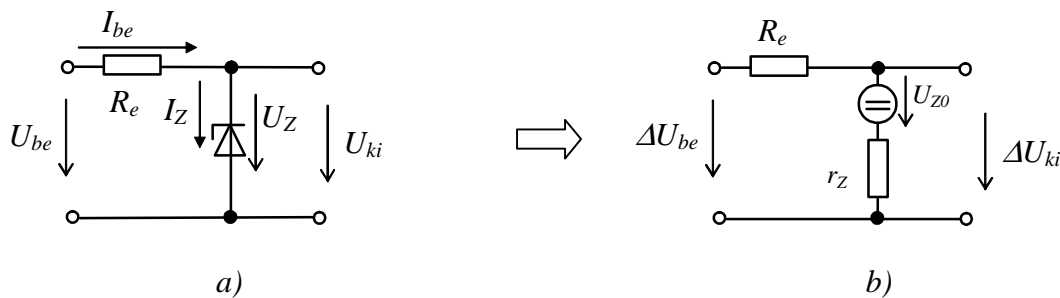
$$P_Z = U_Z I_Z, \quad (3.43)$$

ahol  $U_Z$  a Zener dióda letörési feszültsége,  
 $I_Z$  a Zener diódán átfolyó áram.

Az előtét ellenállás meghatározása:

$$R_e = \frac{U_{be} - U_Z}{I_{be}}. \quad (3.44)$$

A 3.28b) ábrán a Zener diódás feszültségstabilizátor változásokra érvényes dinamikus helyettesítő képe látható.



3.28. ábra. A Zener diódás feszültségstabilizátor a) kapcsolási rajza és b) a változásokra érvényes dinamikus helyettesítő képe.

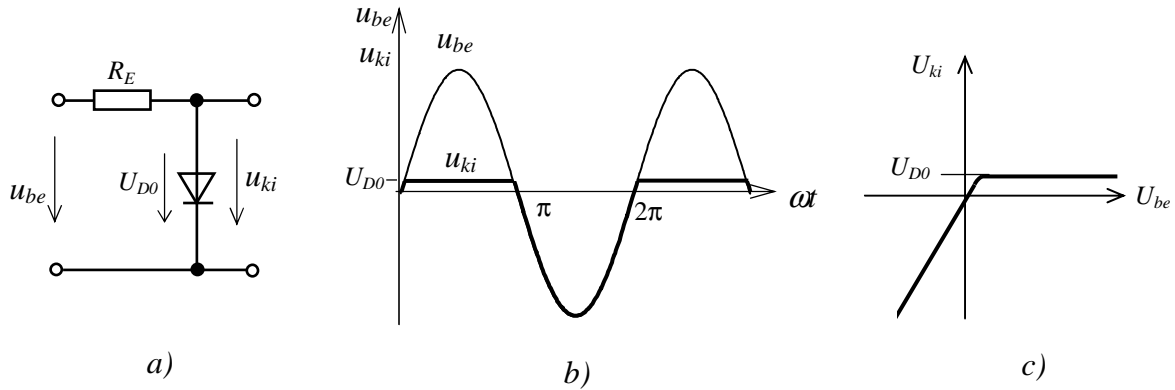
A kimeneti feszültség változása meghatározható a kapcsolat helyettesítő képe alapján:

$$\Delta U_{ki} = \Delta U_{be} \frac{r_Z}{r_Z + R_e}. \quad (3.45)$$

### 3.2.6.6. Határoló, szintillesztő áramkörök

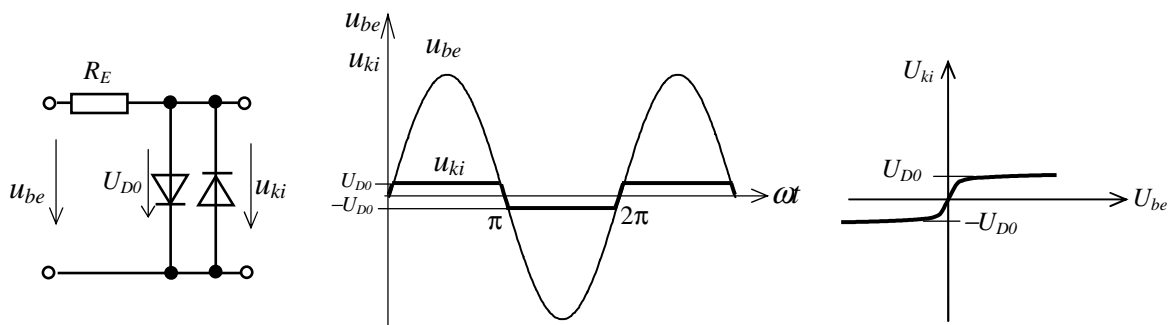
Feszültség határolás céljára diódák és Zener diódák is alkalmazhatók. A 3.29a ábrán diódás határoló áramkör kapcsolási rajza látható. Ha a bemeneti feszültség nagyobb, mint a dióda  $U_{D0}$  küszöbfeszültsége, akkor a diódán áram folyik, az  $u_{ki}$  kimeneti feszültség a dióda  $U_{D0}$  nyitóirányú feszültségével azonos. Ha

a bemeneti feszültség kisebb, mint a dióda  $U_{D0}$  küszöbfeszültsége, a dióda zárva van, nem vezet áramot. Ekkor a kimeneti feszültség a bemeneti feszültséggel egyezik meg. A kapcsolás bemeneti és kimeneti feszültségének időfüggvénye a 3.29b ábrán, a transzfer karakterisztikája a 3.29c ábrán látható.



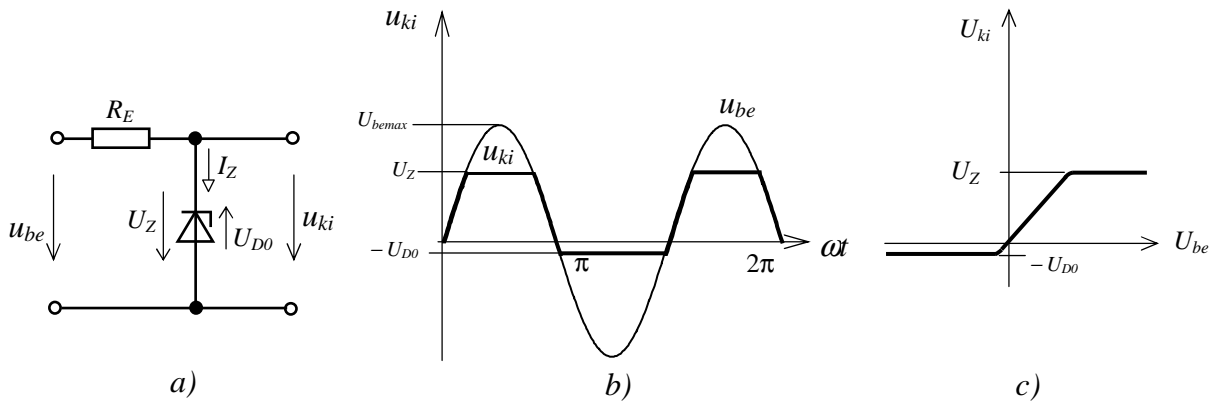
3.29. ábra. Diódás határoló áramkör a) kapcsolási rajza, b) időfüggvényei és c) transzfer karakterisztikája.

A 3.30. ábrán két, egymással szembefordított diódával megvalósított határoló áramkör kapcsolási rajza, időfüggvényei és transzfer karakterisztikája látható. A kapcsolás kimeneti feszültsége az éppen vezető dióda küszöbfeszültségével azonos.



3.30. ábra. Két diódával megvalósított határoló áramkör a) kapcsolási rajza, b) időfüggvényei és c) transzfer karakterisztikája.

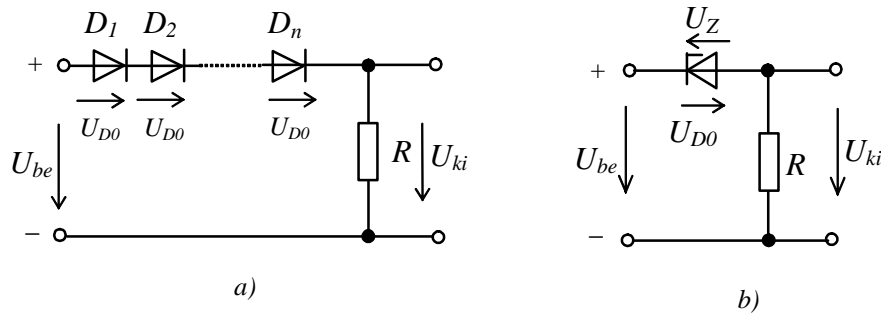
A 3.31. ábrán Zener diódával megvalósított határoló áramkör látható. A bemeneti feszültség pozitív félperiódusában a Zener dióda akkor vezet, ha a bemeneti feszültség pillanatértéke nagyobb, mint az  $U_Z$  Zener feszültség. Ekkor a kimeneti feszültség megegyezik a Zener feszültséggel. A bemeneti feszültség negatív félperiódusában a Zener diódára nyitóirányú feszültség jut, a kimeneti feszültség az  $U_{D0}$  küszöbfeszültség értékével azonos.



3.31. ábra. Zener diódával megvalósított határoló áramkör a) kapcsolási rajza, b) időfüggvényei és c) transzfer karakterisztikája.

Feszültség szint illesztésre alkalmasak a 3.32. ábrán látható kapcsolások. A 3.32a ábrán a kimeneti feszültség a diódák nyitóirányú feszültségeinek összegével kisebb, mint a bemeneti feszültség:

$$U_{ki} = U_{be} - nU_{D0} . \quad (3.46)$$



3.32. ábra. Szintillesztő áramkör a) diódákkal, b) Zener diódával megvalósítva.

A 3.32b ábrán a kimeneti feszültség a Zener dióda feszültségével kisebb a bemeneti feszültségnél:

$$U_{ki} = U_{be} - U_Z . \quad (3.47)$$