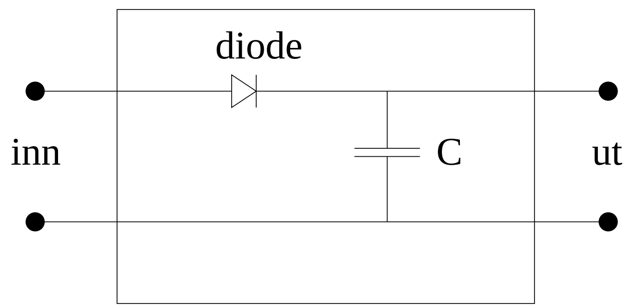
Institutt for fysikk, NTNU
FY1013 Elektrisitet og magnetisme II
Høst 2005

Øving 4

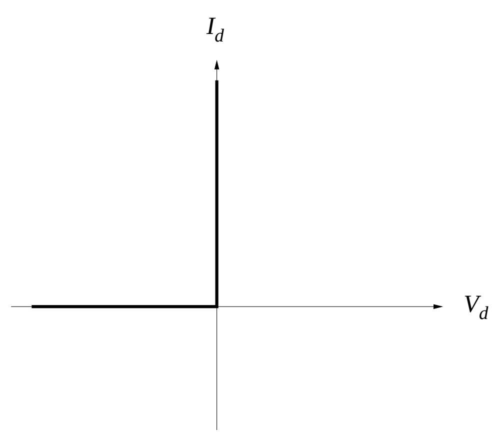
Veiledning: Mandag 19. og onsdag 21. september
Innleveringsfrist: Fredag 23. september

Likeretter

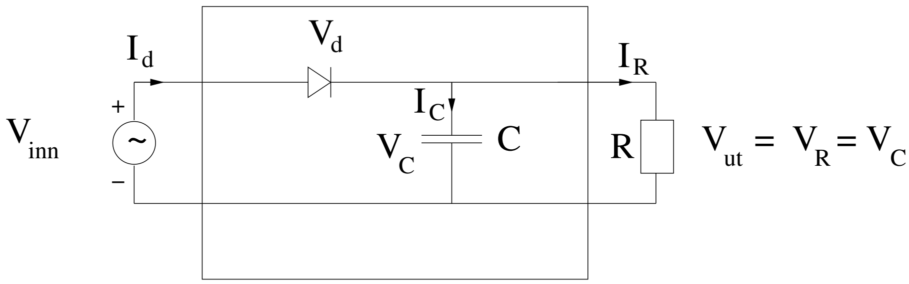
Vi skal se på en likeretter bestående av en ideell *pn*-diode og en kondensator med kapasitans $C = 1$ mF:



Vi antar at dioden har den idealiserte strøm-spennings-karakteristikken $V_d = 0$ når $I_d > 0$ og $I_d = 0$ når $V_d < 0$:



For kondensatoren gjelder $Q = CV_C$. På utgangen ("ut") kobles et apparat som essensielt kan betraktes som en motstand $R = 100\ \Omega$. På inngangen ("inn") kobles ved tidspunktet $t = 0$ en enkel harmonisk vekselspenningskilde $V_{\text{inn}} = V_0 \sin \omega t$ med amplitude $V_0 = 5$ V og frekvens $f = \omega/2\pi = 50$ Hz. (For $t \leq 0$ er altså spenninger, strømmer og ladninger lik null.) Pluss og minus på inngangen i figuren (neste side) angir hva som er henholdsvis høyt og lavt potensial når $V_{\text{inn}} > 0$.



a) Ta utgangspunkt i Kirchhoffs regler og bestem strømmen $I_d(t) = I_C(t) + I_R(t)$ gjennom dioden i tidsrommet $t = 0$ til $t = t_0$. Her er t_0 definert som det tidspunktet når I_d for første gang blir lik null. Vis at t_0 bestemmes av ligningen

$$\tan \omega t_0 = -\frac{\omega}{\omega_0}$$

der $\omega_0 = 1/RC$ er kretsens "karakteristiske" (vinkel-)frekvens. Bestem tallverdi for t_0. Hva blir spenningen $V_R(t)$ over motstanden R i tidsrommet $0 < t < t_0$?
Tips: Så lenge $I_d > 0$, kan vi med vår idealiserte modell erstatte dioden med en "kortslutning", dvs en leder uten motstand. Og husk at $I_C = dQ/dt$.

b) Anta heretter, for enkelhets skyld, at $t_0 = \pi/2\omega$, dvs nøyaktig en kvart periode. Ettersom I_d ikke *kan* være negativ, må vi ha $I_d = 0$ fra og med $t = t_0$, dvs fra og med $\tau \equiv t - t_0 = 0$, og en tid framover. I dette tidsintervallet kan dioden erstattes med en åpen krets. Vis at spenningen over motstanden (og kondensatoren) da faller av eksponentielt på denne måten:

$$V_R(\tau) \ \ (= V_C(\tau) \ ) = V_0 \exp(-\omega_0 \tau)$$

Tips: Så lenge dioden kan betraktes som en åpen krets, er spenningskilden effektivt "koblet fra". Da står vi igjen med en enkelt sløyfe med en R og en C, og det har vi jo vært borti tidligere...!

c) Ved et senere tidspunkt $t = t_1$ (evt $\tau = t_1 - t_0$) vil vi igjen ha $V_{\text{inn}} = V_R$. Da har "ut-spenningen" falt til en verdi $V_1 \equiv V_{\text{inn}}(t_1)$. Den såkalte "ripple"-spenningen defineres nå som dette fallet i spenning, dvs $V_{\text{ripple}} = V_0 - V_1$. Bestem tidspunktet t_1 og "ripple"-spenningen V_{ripple}.
Tips: Ligningen som bestemmer t_1, og dermed V_1, kan ikke løses eksakt (dvs "analytisk", på lukket form). Du kan imidlertid gjøre et temmelig brukbart overslag ved rett og slett å tegne opp $V_{\text{inn}}(t)$ og $V_R(\tau)$.

d) Hvordan fortsetter $V_R(t)$ deretter? Skisser 3-4 perioder av tidsforløpet.

Kommentar: Forhåpentlig ser du at inngangsspenningen, som svinger mellom å være positiv og negativ, har blitt "likerettet", dvs at $V_R(t)$ kun er positiv. Et "adapter", f.eks. for å lade batteriet i en mobiltelefon, fungerer essensielt på denne måten. Under lading må strømmen gjennom batteriet gå i en bestemt retning slik at den kjemiske prosessen som foregår ved bruk reverseres. (I tillegg må spenningsamplituden gjerne transformeres ned, men det er en annen historie.)

Noen tallsvar: a) $t_0 \simeq 5.1$ ms c) $t_1 \simeq 23$ ms, $V_{\text{ripple}} \simeq 0.85$ V