

FYS 2150. ØVELSE 10

SPENNINGSFORSYNING

Fysisk institutt, UiO

Mål

Alle former for elektriske og elektroniske apparater er utstyrt med en spenningskilde. Slike spenningskilder leverer enten vekselspenning eller likespenning. I de fleste øvelsene i kurset bruker vi eksterne spenningskilder som leverer likespenning. I denne øvelsen skal vi se nærmere på innmaten i likespenningskilder. Den sentrale delen er likeretterkoblinger, det vil si kretsløsninger som omformer vekselspenningen fra lysnettet til likespenning. Vi skal først se på diodekarakteristikken og deretter se på enkle løsninger og måle egenskaper til slike spenningskilder.

Innledning

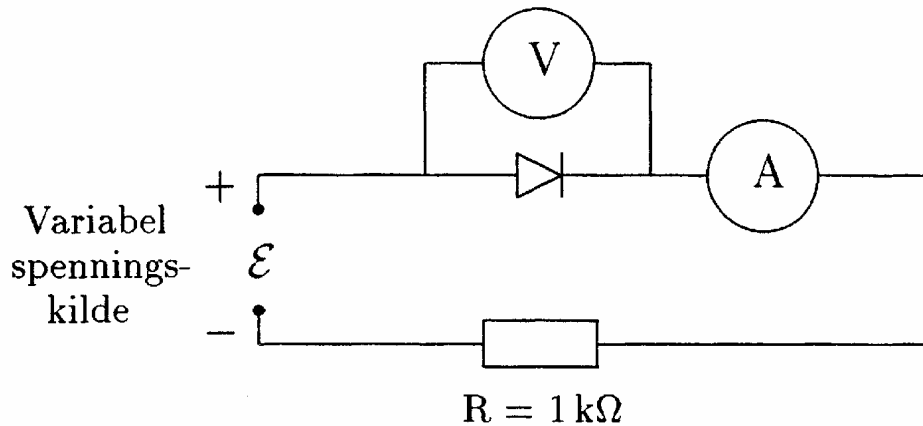
En ideell spenningskilde er en boks med to terminaler som vedlikeholder en fast spenning over disse terminalene uansett hvilken last (motstand) vi kobler over terminalene. Det betyr at spenningskilden *nå* levere en strøm $I = V/R$ hvor V er spenningen og R er motstanden (lasten). En virkelig spenningskilde kan bare levere en endelig mengde strøm og i virkeligheten virker den bare som en konstant spenningskilde så lenge lasten ikke er for liten.

Et batteri på 9V er en perfekt spenningskilde med en last på 3Ω og klarer å levere en strøm på 3A. Kapasiteten til batteriet er liten slik at batteriet vil dø raskt i løpet av få minutter om vi trekker så mye strøm. Legg merke til språkbruken rundt spenning og strøm. Spenninger ligger over to terminaler mens strømmen går gjennom en last fra en terminal til en annen. Strømmen beveger seg fra positiv terminal til negativ terminal. Dersom den positive terminalen forgrener seg i flere armer i kretsen vil strømmen også forgrene seg gjennom de forskjellige armene og til slutt samle seg i den negative terminalen. Derfor kalles også denne terminalen for fellesterminalen (*common* på

engelsk). Et annet hyppig brukt ord på terminalen er *jord*, noe som kan være meget misvisende. Misforståelsen oppstår fordi vi ikke er nødt til å bruke bakken som fellesterminal i elektriske apparater. Det er derimot ofte ønskelig å ikke koble fellesterminalen til bakken (jord) (på grunn av støypoblemer). Det vi derimot ofte kobler til bakken (jord) er metallkassen som apparatet er bygget inn i. Med en slik kobling øker vi vår egen sikkerhet. Når kassen er koblet til bakken er kassen på samme elektriske potensial som kroppen vår som også er i kontakt med bakken. Derfor vil det ikke kunne gå strøm gjennom kroppen vår når vi tar på kassa og vi unngår støtproblemer. En annen fordel med denne koblingen er at eksterne elektriske felter som for eksempel radiosignaler eller elektromagnetisk støy fra annen elektrisk apparatur vil bli tatt opp av kassen som sender effekten direkte til bakken (Faraday-bur). Det er viktig å legge merke til at strømmen ikke vil gå gjennom en krets dersom det ikke er en kobling til fellesterminalen. Effekten av brytere i kretser er nettopp å lage eller bryte forbindelsen mellom terminalene slik at strømmen enten går eller stopper opp. Spenningen derimot ligger fremdeles over terminalene. Brytere bryter strøm og ikke spenning. På dette punkt er det nok nødvendig med en advarsel. Selv om det ikke er forbindelse mellom to terminaler kan det gå strøm fra en terminal på en spenningskilde og gjennom for eksempel kroppen din! Hvordan? Dersom to gjenstander som har forskjellig elektrisk potensial blir koblet sammen, vil det være et spenningsfall som genererer en strøm og som går helt til spenningsfallet er null. En slik effekt kan være dødelig, så vær forsiktig med å ta på spenningskilder selv om du bare bruker en hånd. Dersom du stikker bare en finger inn i stikkontakten på veggen, får du garantert støt fordi bakken (jord) er en del av strømforsynings-nettet i hus. Husk også at det finnes kapasitive og induktive koblinger som du kan være en del av uten å være klar over det.

Oppgave 1: Strøm-spenningskarakteristikk for halvlederdiode

Halvlederdiode benyttes for likeretting av vekselstrøm. La oss derfor undersøke sammenhengen mellom spenning over en diode og den strømmen som går gjennom denne. Sammenhengen, når den tegnes inn i en graf, kalles diodes strøm-spenning karakteristikk. For denne oppgaven har du tilgjengelig to multimeter, en variabel spenningskilde, og en motstand på $1k\Omega$. Kobl opp som vist i figur 1, men kobl ikke til spenningskilden (e) før du har satt multimetrene (A og V) på og i riktig funksjon og måleområde. Pass på å bruke det multimeteret som har høyest følsomhet ved strømmåling som amperemeter (Fluke modell 45 eller 25 multimeter).



Figur 1: Måleoppstilling for å bestemme strøm-spenning karakteristikken for en diode (oppgave 1). Figuren viser måling i lederetning. For å oppnå sperreretning, bytter du polaritet på spenningskilden, og lar alle andre komponenter og ledninger stå urørt.

Variér spenningen e fra 0 til +15 V (i "lederetningen") mens du måler spenningen over og strømmen gjennom dioden. Snu polariteten (bytt fra pluss-uttaket til minus-uttaket på spenningskilden) og varier spenningen fra 0 til -15 V (i "sperreretningen") mens du måler spenning og strøm. **Når du måler i sperreretningen bør du koble fra voltmeteret idet du måler strømmen!** Sett måledataene opp i en tabell (vedlagt), og fremstill på millimeterpapir strømmen gjennom dioden som funksjon av spenningen over denne.

Det kan være lurt å bruke forskjellig skalering på x-aksen (spenning) for lede- og sperreretning. Plott dataene før du har avsluttet målingene slik at du kan ta nye målinger inntil karakteristikken er bra definert. Det kan være tilstrekkelig med 5-10 positive og 2-4 negative spenninger over dioden. Du må selv velge egnede verdier med tanke på å få kurven definert best mulig. Beskriv resultatet med egne ord, og legg spesielt vekt på kurveforløpet når dioden er i lederetning.

Du vil forhåpentligvis finne at strømmen gjennom dioden i lederetningen først blir betydelig (i størrelsesorden mA) når spenningen har nådd en viss verdi. Prøv å anslå denne terskelverdien for denne dioden. Halvledermaterialet i denne dioden er silisium. For en annen type materiale (germanium) er terskelverdien ca. 0.1 - 0.3 V. Hvilket materiale, silisium eller germanium, har høyest terskelverdi?

Vi håper du vil finne at maksimum spenning over dioden vil være mindre enn 1V for oppkoblingen i figur 1 (for lederetningen). Resistansen i dioden vil variere med

spenningen, men den vil være liten når dioden arbeider i lederetning og det går strøm gjennom den. Resistansen er derimot meget høy når dioden arbeider i sperreretningen.

Oppgave 2 : Vekselspenningskurven

Start med å koble transformatoren til variac-en. Innstill variac-en slik at spenningen ut fra transformatoren (mellom rød og gul kontakt) er 5V, målt med multimeter (i AC - innstilling).

Velg passende måleområder for spenning og frekvens og koble oscilloskopet over utgangen av transformatoren (mellom rød og gul kontakt). Tegn opp kurveforløpet.

Vekselspenning er et mer komplekst begrep enn likespenning. Det kommer selvsagt av at spenningen varierer med tiden. Definisjoner ble gitt i øvelse 3 og vi husker at *Amplituden* eller den maksimale spenningen, V_{\max} , er halve peak-to-peak spenningen V_{pp} ($V_{\max} = \frac{1}{2}V_{pp}$). Effektiv-verdien av vekselspenningen (også kalt Root Mean Square spenningen) er gitt som $V_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}V_{\max}$.

Hvilken spenning målte du med Voltmeteret (V_{\max} , V_{pp} eller V_{eff})?

Oppgave 3 : Likeretting

I oppgave 1 så du hvordan en diode kan sperre for eller lede strøm avhengig av om diodens anode er på negativt eller positivt potensial i forhold til katoden. Lag en kobling med diode og motstand som vist i Figur 2, men uten å koble til transformatoren.

Husk gjennom hele resten av øvelsen at alle koblinger/endringer foretas med transformatoren frakoblet!

Når du er sikker på at dioden står slik at vi likeretter de positive periodene (det vil si at dioden leder strøm når punktet **A** i kretsen er positivt i forhold til **B**, kan du koble

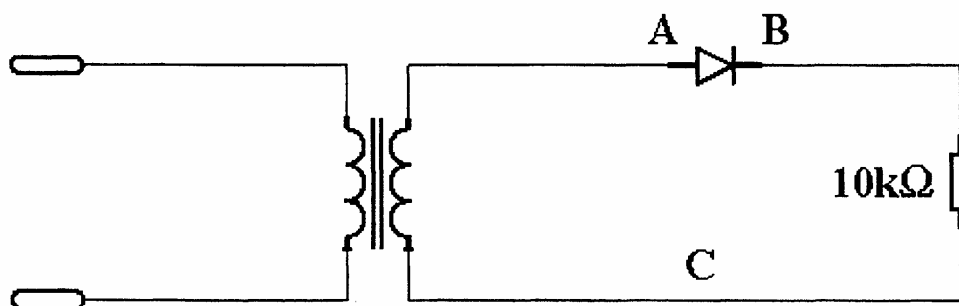


Figure 2: 1N5406-dioden brukt som likeretter

kretsen til 5V transformatoren. Lederetning er indikert med en ring på dioden. Koble inngangen av dioden (punkt **A** i figuren) til kanal 1 på oscilloskopet. Koble utgangen fra dioden (punkt **B** i figuren) til kanal 2. Finn selv ut hvor i kretsen du vil koble til oscilloskopets jord.

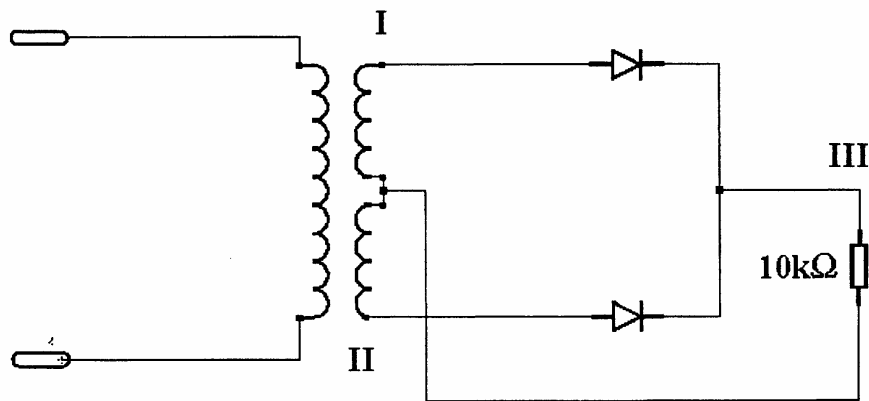
Tegn opp kurveforløpet på begge kanalene og beskriv effekten dioden har på signalet fra transformatoren. Hvorfor tror du denne koblingen kalles en halv-periode likeretter? Hvilken spenning måler du i punkt **B** i figuren? (Mål både med oscilloskop og multimeter.) Hvorfor finner vi ikke $V_{eff} = 5 \text{ V}$?

På oscilloskopet ser du at signalet ut fra dioden svinger mellom null-linjen og V_{max} . Vi sier at dette signalet er likerettet fordi det alltid er positivt. Dette signalet er selvsagt ikke et DC signal. Vi skal se videre i øvelsen hva vi kan gjøre for at signalet blir mer DC-lik. Dersom denne koblingen ble brukt som en strømforsyning måtte vi ha to terminaler som vi tappet strømforsyningen fra.

I figuren er det merket av tre punkter **A**, **B** og **C**. Hvilke av disse ville du bruke som de to terminalene? Hvilken terminal vil du velge som felles (jord) dersom du ønsker en spenningsforsyning med positiv spenning?

Oppgave 4 : Likeretting med to dioder og sentertapping

I denne øvelsen skal vi se hvordan vi kan likerette begge halv-periodene av vekselspenningen. Vi lager en kobling som vist i Figur 3.



Figur 3: *Likeretter med sentertapping.*

Vi velger her å bruke transformatoren med sentertapping (sort kontakt). Det vil si at vi tar ut spenning fra viklingene på sekundærsiden på tre steder. Dersom vi definerer midtpunktet som null vil vi ta ut spenningen mellom **I** (rød kontakt) og null og mellom **II** (gul kontakt) og null. Det er viktig å legge merke til at punktene **I** og **II** alltid er i motfase. Punktet **I** vil være positivt når **II** er negativt og omvendt. Dette gjør at begge halvperiodene vil signalet blir likerettet i denne koblingen.

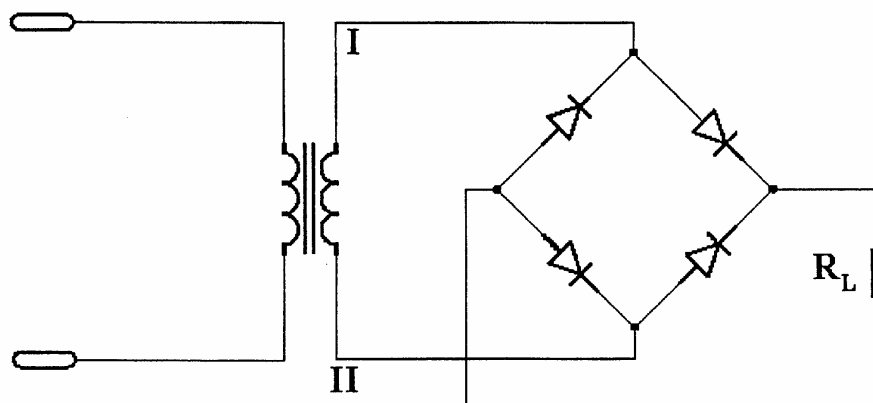
Verifiser at begge halv-periodene er likerettet ved å betrakte spenningen over lastmotstanden (punkt **III**) på oscilloskopet. Betrakt også signalet i punktene **I** og **II**. Lag en skisse som viser forløpene av signalene i punktene **I**, **II** og **III**. Lag også en skisse av figur 3 i journalen og tegn inn hvordan strømmen går gjennom kretsen i de to tilfellene:

1. **I** positiv og **II** negativ.
2. **II** positiv og **I** negativ.

Hvilken maksimal spenning V_{\max} måler du på utgangen? Forklar denne verdien.

Oppgave 5 : Brolikeretter

Likeretterkoblingen i oppgave 4 gjør ikke optimal bruk av vekselspenningskilden (transformatoren). Bare halvparten av sekundærvindingene benyttes av gangen. Ved kun å tappe fra sekundærspolens ytterpunkter, som i figur 4, får vi den doble amplituden. Dette betyr at at strømmen i transformatorens vindinger er halvparten av hva den var i tilfellet med sentertapping for samme utnyttede effekt (som er lik produktet av spenning over og strøm gjennom lasten). Det ohmske effekttapet i sekundærspolens vindinger er produktet av motstanden og kvadratet av strømmen. Når vi tar hensyn til at motstanden i det siste tilfellet er dobbelt så stor (hele sekundærspolen benyttes), er det lett å innse at effekttapet blir halvparten av tapet i tilfellet med sentertapping, for samme utnyttede effekt. Derfor er det vanligste å bruke en kobling av dioder som vist i figur 4. Denne koblingen kalles en brolikeretter.



Figur 4: Brolikeretter

Kople opp som vist i figur 4 med punktene **I** og **II** som transformatorens ytterterminaler (rødt og gult tilkoplingspunkt). La lasten være $R_L = 10k\Omega$.

Hvilken maksimal spenning V_{\max} måler du over lastmotstanden med oscilloskopet? Tegn opp kurveforløpet.

Forklar hvordan diodene likeretter spenningen. Tegn opp et diagram som viser hvordan du mener strømmen går gjennom diodene for de to tilfellene **I** positiv, **II** negativ, og omvendt.

Selv om vi kaller disse koblingene for likerettere, ser vi på oscilloskopet at spenningen ikke er konstant. Men variasjonen skjer på samme side av nullinjen; vi har alltid et signal som er null eller positivt. Derfor kaller vi signalet likerettet. Denne variasjonen av spenningen kalles for *ripple*. Dersom vi skal erstatte for eksempel et batteri med en spenningsforsyning av denne typen, må vi glatte ut signalet slik at utgangsspenningen blir mer konstant.

Den enkleste måten å få til dette på, er å koble en stor kapasitans på utgangen av brolikeretteren. Koble først en $47\ \mu\text{F}$ kondensator som vist i figur 5. **ADVARSEL!** Husk å sjekke at kondensatoren er koblet riktig med hensyn til polariteten. Kondensatorens positive terminal må kobles til den positive terminalen på brolikeretteren. Den negative terminalen må kobles til returterminalen på likeretteren. Dersom dette blir gjort galt kan kondensatoren **EKSPLODERE**.

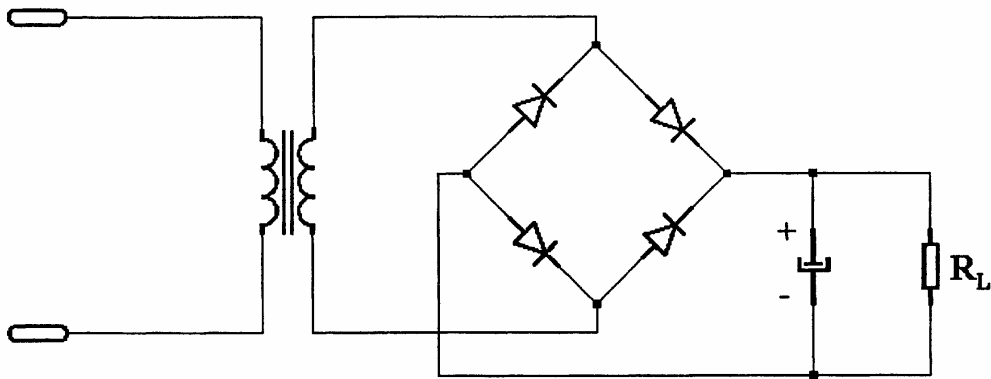


Figure 5: Brolikeretter med glattekondensator

Betrakt spenningen over lastmotstanden på oscilloskopet og tegn opp kurveforløpet. Vi ser nå at signalet har en tydelig likespenningskomponent og en mye lavere rippelspenning. Hvor stor er likespenningen?

Hva er peak-to-peak-verdien av rippelspenningen? (Bruk AC innstilling kombinert med høy følsomhet til denne målingen.)

Vi skal nå gjøre målingen en gang til, men forandre lastmotstanden fra $10\text{k}\Omega$ til $2\text{k}\Omega$. Hva skjer med likespenningen og rippelspenningen?

Vi gjør målingene enda en gang. Vi setter tilbake lastmotstanden til $10k\Omega$, men bytter kondensatoren til $470\mu F$. Hvilken effekt har dette?

Vi har brukt forskjellige kombinasjoner av kapasitans og lastmotstand. Studér målingene og gi en kort kommentar om hvilken betydning disse parametrene har for strømforsyninger. Prøv å gi en kort forklaring i lys av det du lærte i øvelse 4 om RC-filtre.

Oppgave 6 : Spenningsregulering

Vi har suksessivt koblet oss frem til en kobling som kan brukes som likespenningsforsyning. De koblingene vi har sett til nå kalles uregulerte. Dette kalles de fordi de ikke klarer å holde samme spenning uavhengig av lasten. Det vil si at spenningen ut varierer med hvor mye strøm som trekkes. Dette er uholdbart. Derfor trenger vi å kunne regulere utgangsspenningen til en strømforsyning slik at strømtrekket ikke påvirker spenningen ut. Den enkleste måten er å bruke en Zenerdiode. Vanlige dioder har som kjent en lederetning og en sperreretning. Dersom vi påtrykker en spenning i sperreretningen, vil dioden ikke lede strøm. Dersom vi påtrykker en tilstrekkelig stor spenning, kan vi allikevel få en strøm til å gå ved at dioden på sett og vis bryter sammen. Dette utnyttes i *Zenerdioden*.

For de mest interesserte:

Sammenbruddsprosessen kan forårsakes av to fysiske fenomener:

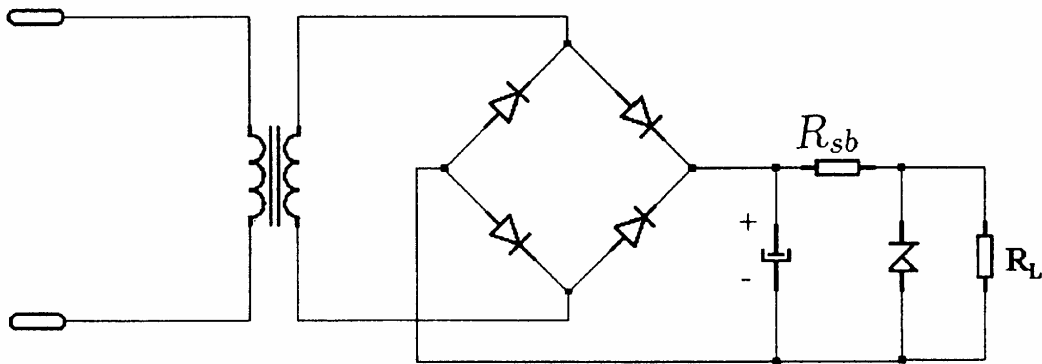
1. Potensialet er så stort at minoritetsbærerne av ladningen får så stor hastighet at den kinetiske energien er tilstrekkelig til å slå løs nye elektron/hull par i halvlederovergangen. Dette kan føre til en raskt økende strøm.
 2. Den andre prosessen som kan inntre er såkalt tunnelling. Dersom ladningsbærerne i valensbåndet på P-siden gjør en direkte tunnelling til ledningsbåndet på N-siden, kan vi få en raskt stigende strøm gjennom dioden. Den reversspenningen som skal til for at sannsynligheten for tunnelling øker, er avhengig av at ledningsbåndet på P-siden faller under valens-båndet på N-siden når reversspenningen økes. Spenningen dette skjer ved kan kontrolleres ved hjelp av doping av dioden under fremstillingen av halvledermaterialene. Derfor kan vi kontrollere når tunnelling skjer. Denne effekten kalles for *avalanche breakdown* (avalanche betyr skred) eller *Zener breakdown*. På norsk vil vi bruke uttrykket Zener-sammenbrudd. Denne effekten brukes til å lage Zenerdioder.
-

Poenget med en Zenerdiode er at reversspenningen bare kan øke til sammenbruddsspenningen. Derfor kan vi bruke en slik diode til å regulere spenningen ut fra en brolikeretter.

Først skal vi raskt studere Zenerdiodens strøm-spennings-karakteristikk med skopet i XY-modus. Koble en seriekobling av Zenerdioden, en 270Ω motstand og transformatoren (rødt og gult tilkoplingspunkt). Sett oscilloskopet i XY-modus, og nullstill slik at origo kommer midt på skjermen. La både kanal 1 og 2 være innstilt på 1V/rute. Koble slik at kanal 1 viser spenningen over Zenerdioden og kanal 2 spenningen over motstanden (som er proporsjonal med strømmen i kretsen), med oscilloskopets jord tilkoblet mellom Zenerdioden og motstanden. Bruk CH2 INVERT og DC-innstilling på oscilloskopet. Skisser og kommenter skjermbildet.

Koble så opp som vist i figur 6, men uten Zenerdioden. La strømbegrensningsmotstanden, R_{sb} , være 270Ω . Bruk kondensatoren på 47mF . La først lasten R_L være $10k\Omega$. Betrakt signalet på utgangen (over lasten) og bestem verdien av den tilnærmede likespenningen, V_{\max} , og peak-to-peak verdien av rippelspenningen.

Bytt ut lastmotstanden på $10k\Omega$ med en på $2k\Omega$ og mål igjen V_{\max} og peak-to-peak verdien av rippelspenningen. Foreta deretter de samme målingene (med 10 og $2k\Omega$ last) med Zenerdioden innkoblet. Still opp alle resultatene i en oversiktlig tabell, og kommenter resultatene.



Figur 6: *Brolikeretter med enkel spenningsregulering med Zenerdiode*

Utstysrliste:

Oscilloskop Tektronix **2205** (ikke 2225 - viktig pga støyproblemer)

Spenningskilde 0-15 V

Variac

10VAC transformator

2 Multimetre (En Fluke 25 + en Fluke 45 eller 25 for en kort periode i oppg.1)

Kondensatorer, 47 og 470 μF

Motstander: 270 Ω , 1k Ω , 2k Ω , 10k Ω

2 dioder

Brokopling av 4 dioder

1 stk 3.0V Zenerdiode

Alle komponenter skal være festet i pleksiglassholdere.

1 stk mm-papir

