

PRÀCTICA 6

DÍODES: CARACTERÍSTIQUES I APLICACIONS

Abans d'anar al laboratori

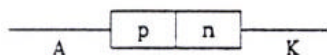
- 1 - Estudieu l'apartat 1 sobre el Fonament Teòric d'aquesta pràctica.
- 2 - Resoleu el problema plantejat a l'apartat 1.3. La resolució d'aquest problema l'haureu de lliurar al professor del laboratori a l'inici de la pràctica.
- 3 - Repasseu l'Apèndix A sobre el Tauler de Connexions, l'Apèndix B sobre Polímetre i l'Apèndix C sobre el l'Oscil·loscopi.
- 4 - Llegiu l'apartat 2 sobre el Procediment de Mesura que seguireu durant la realització d'aquesta pràctica.

Objectius: Trobar les **corbes característiques** d'un **díode d'unió** i d'un **díode Zener**. Visualitzar la **rectificació** d'una ona amb un **díode d'unió** i un **pont de díodes**. Construir un circuit **limitador** de tensió amb un **díode Zener**.

1 Fonament teòric

1.1 Descripció d'un díode

Un díode és un dispositiu format per la unió d'un semiconductor de tipus p i un tipus n.



Si s'aplica als seus extrems una tensió $V_{AK} = V_A - V_K$, s'observa que la intensitat que hi circula no és lineal amb la tensió, de manera que només hi ha circulació apreciable de corrent quan V_{AK} és superior a un determinat valor que depèn dels materials semiconductors. Per tensions negatives el díode pràcticament no condueix. La gràfica que ens dona la relació existent entre I i V_{AK} s'anomena **corba característica del díode** i té la forma indicada a la Figura 1. La tensió V_g , a partir de la qual I augmenta notablement, s'anomena **tensió llindar**.

El símbol del díode indica el sentit permès de pas del corrent.

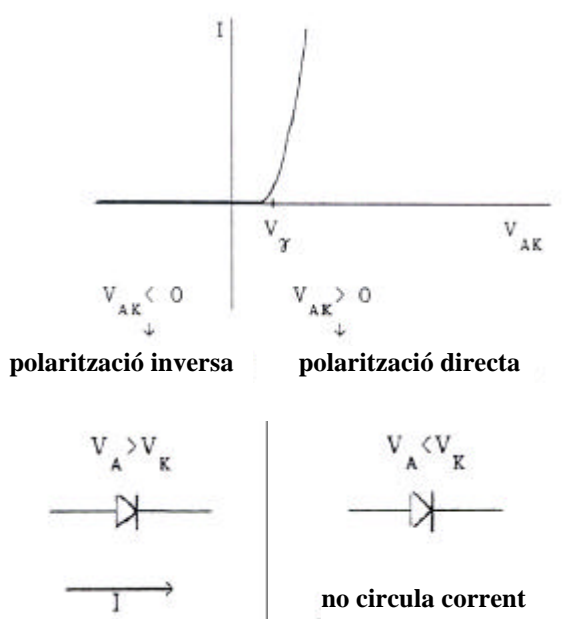


Figura 1

Hi ha un tipus especial de díode que permet la conducció quan està polaritzat inversament. Aquest díode s'anomena **díode Zener**, i la seva corba característica és com la representada a la Figura 2.

La tensió V_Z , a partir de la qual el díode condueix estant polaritzat inversament, s'anomena **tensió Zener**.

Una propietat important del díode Zener és que, quan condueix polaritzat inversament, encara que augmenti molt la intensitat que hi circula, les variacions de la tensió són molt petites i pot considerar-se que aquesta es manté pràcticament constant i igual a V_Z .

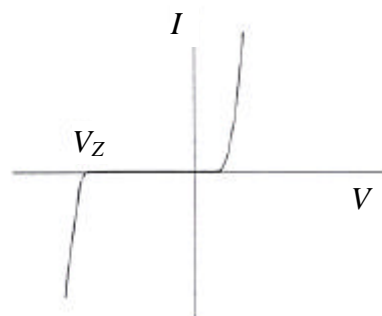


Figura 2

El símbol del díode Zener és



1.2 Aplicacions

D'entre les moltes aplicacions dels díodes, en aquesta pràctica en veurem les següents: la rectificació de mitja ona, la rectificació d'ona completa i l'estabilització d'una tensió no constant.

1.2.1 Rectificació de mitja ona

A la Figura 3 veiem una resistència R connectada a una tensió alterna $V(t) = V \sin(\omega t)$. En aquest circuit la intensitat $I(t)$ està en fase amb el voltatge $V(t)$.

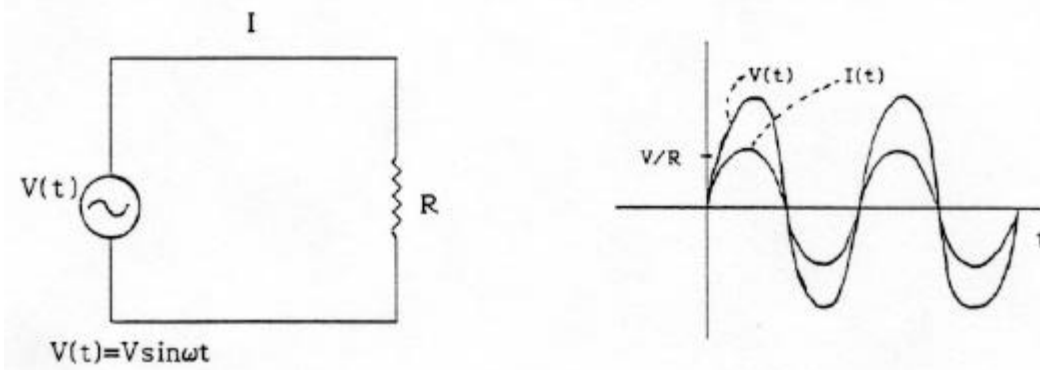


Figura 3: Circuit de corrent altern sense rectificar

La Figura 4 mostra el circuit de la Figura 3 al qual se li ha incorporat el díode. En aquest cas, els semiperíodes negatius de $I(t)$ desapareixen.

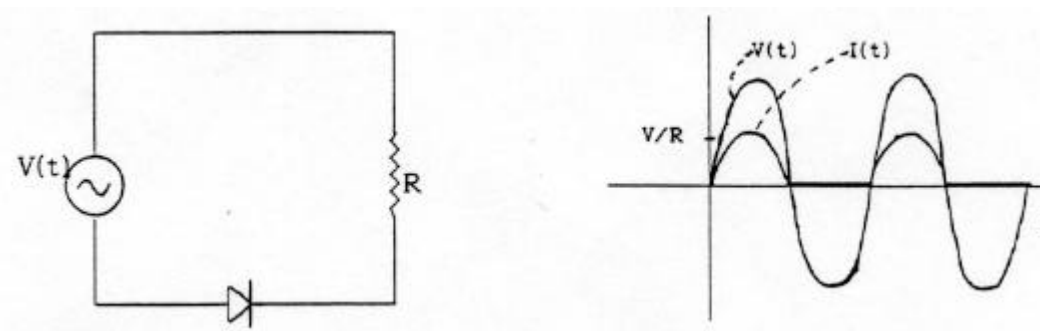


Figura 4: Circuit de corrent altern rectificat amb un díode

1.2.2 Rectificació d'ona completa

Les Figures 5a i 5b representen un pont de díodes. Quan $V_a - V_b$ és positiu, D_1 i D_4 estan polaritzats directament i deixen passar el corrent (Figura 5a). Quan $V_a - V_b$ és negatiu, llavors el corrent circula per D_3 i D_2 (Figura 5b). En ambdós casos, el corrent sempre circula per R en el mateix sentit.

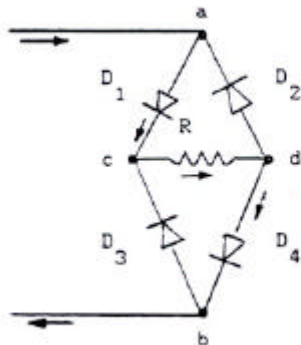


Figura 5a

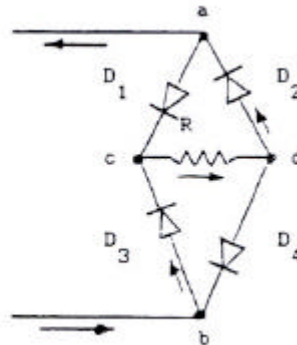


Figura 5b

Així si s'aplica una tensió sinusoidal $V(t)$ entre els punts a i b, la intensitat $I(t)$ que circula per R (que és proporcional a $V_c - V_d$) és com la indicada a la Figura 6.

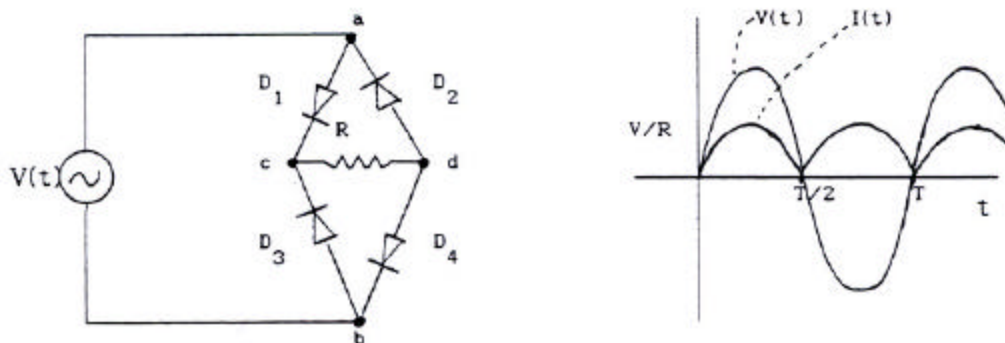


Figura 6: Circuit de corrent altern rectificat amb un pont de díodes

El circuit de la Figura 6 també pot esquematitzar-se considerant el pont de díodes com una capsa negra, que rep un senyal d'entrada ($V_a - V_b$) i dóna un senyal rectificat ($V_c - V_d$), connectada a la resistència R (Figura 7).

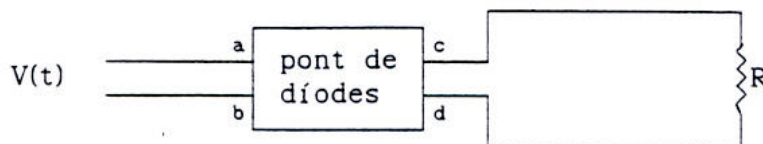


Figura 7

1.2.3 Estabilització d'una tensió no constant

Si a la sortida del pont de díodes es connecta un condensador en paral·lel, el procés de càrrega i descàrrega del condensador esmorteix les oscil·lacions del corrent rectificat (Figura 8), de manera que es quasi continu al voltant d'un valor mitjà V_m .

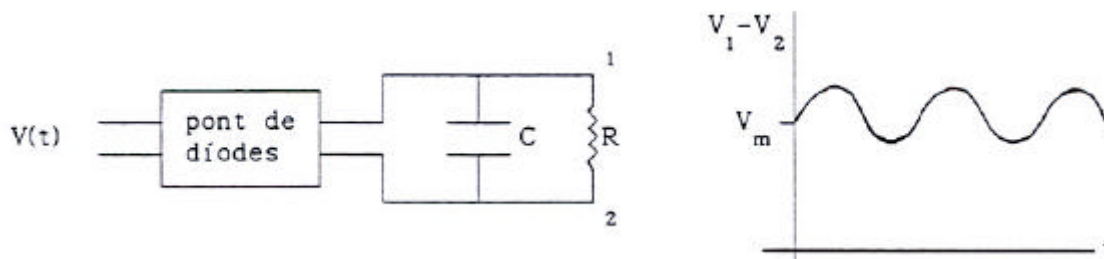


Figura 8

Si, a més a més, s'hi introdueix un díode Zener com s'indica a la Figura 9, la tensió amortida que hi havia abans a borns de la resistència s'estabilitza ja que el Zener s'autorregula per donar una tensió pràcticament constant igual a V_Z .

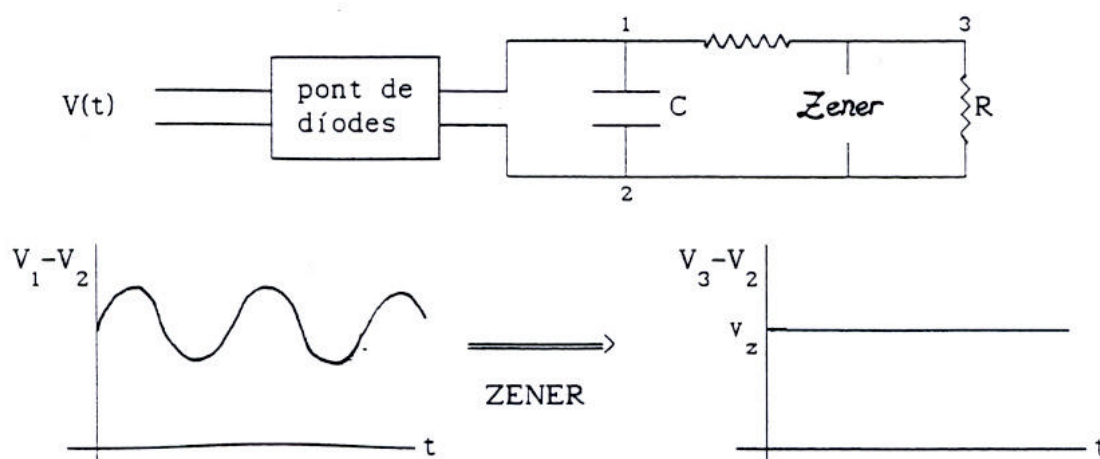


Figura 9: Un díode Zener pot estabilitzar una tensió no constant

1.2.4 Circuit limitador de tensió

A la Figura 2, on es mostra la corba característica d'un díode Zener, s'observa que quan el díode condueix en **polarització inversa** el **voltatge** es manté pràcticament **constant** ($V = -V_Z$) per qualsevol valor de la intensitat. Aquest comportament suggereix l'ús d'un díode Zener en un **limitador de tensió**, que és un circuit elèctric format per resistències i díodes especialment dissenyat per **protegir un circuit extern** de tensions que el podrien malmetre. Cal dir que en polarització directa la tensió no es manté tan constant pel valor $V = V_g$ com en polarització inversa.

L'esquema d'un circuit limitador de tensió és el que es mostra a la Figura 10a. Aquest circuit és equivalent al de la Figura 10b que correspon al circuit equivalent Thévenin entre F i C quan no hi ha el díode connectat en sèrie amb al díode

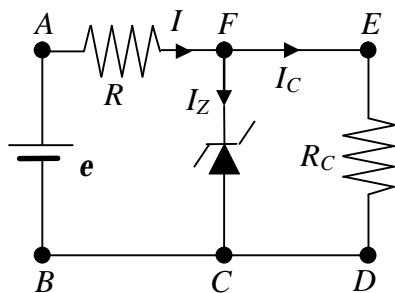


Figura 10a

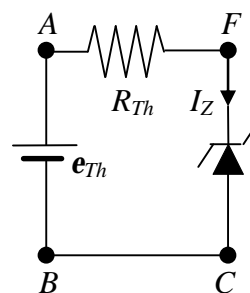


Figura 10b

e_{Th} és la tensió $V_{FC} = V_F - V_C$ quan pel díode del circuit de la Figura 10a no circula corrent i $I = I_C = e/(R+R_C)$. Aleshores $e_{Th} = R_C e/(R+R_C)$. Si

$$e_{Th} = R_C \frac{e}{R + R_C} \geq V_Z \quad \rightarrow \quad e \geq \frac{R + R_C}{R_C} V_Z$$

pel díode passa corrent i el valor de e a partir del qual el **díode comença a conduir** és:

$$e_{minZ} = \frac{R + R_C}{R_C} V_Z \quad (1)$$

Un criteri bastant estès per mesurar V_Z consisteix en utilitzar el valor de V_{FC} per al qual $I_Z = 1 \text{ mA}$ (veure Figura 11).

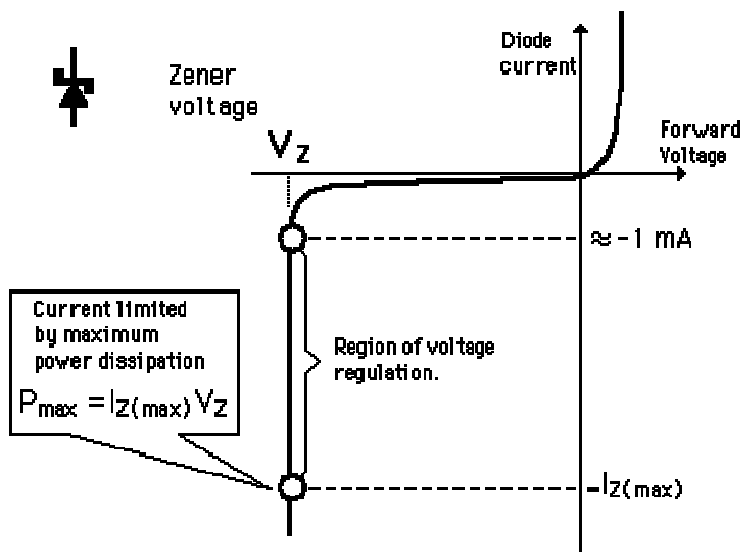


Figura 11

La **potència dissipada per un díode** és el producte de V_{FC} per I_Z . Si el díode està en polarització inversa i condueix, $V_{FC} \approx V_Z$ i la potència és $P_Z = V_Z I_Z$.

Al circuit limitador de tensió de la Figura 10 es pot plantejar una equació de balanç energètic, en què la potència donada pel generador eI es dissipa a les resistències i al díode:

$$eI = RI^2 + R_C I_C^2 + V_{FC} I_Z \quad (2)$$

1.3 Problema

Al circuit de la Figura 12 $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = R_3 = 200 \Omega$ i $R_4 = 50 \Omega$, i les tensions característiques del Zener són $V_Z = 6 \text{ V}$ i $V_g = 0.6 \text{ V}$.

a) Quin és valor de $e_{\min Z}$ a partir del qual el díode Zener comença a conduir?

b) Determineu V_{FC} , I , I_C i I_Z per als valors de $e = 10 \text{ V}$ i $e = 20 \text{ V}$. Comproveu que en cada cas la potència subministrada pel generador és igual a la dissipada al díode més la dissipada a les resistències.

c) Si $e = 30 \text{ V}$, quins dels valors de V_{FC} , I , I_C i I_Z canvien respecte al cas $e = 20 \text{ V}$?

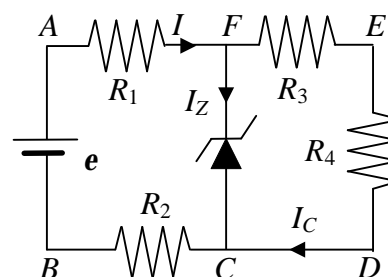


Figura 12 A

2 Procediment de mesura

2.1 Corbes característiques dels díodes

2.1.1 Comproveu que en el lloc de treball teniu:

- Un generador de funcions.
- Un oscil·loscopi.
- Un díode 1N4007 i un díode Zener DZ6V2.
- Pont de díodes.
- Una resistència de 100Ω i una de $1 \text{ k}\Omega$.
- Dos condensadors, un de $1 \mu\text{F}$ i l'altre de $47 \mu\text{F}$.
- Cables de connexió.

2.1.2 Visualització amb l'oscil·loscopi de les corbes característiques:

1. Amb el díode 1N4007 i la resistència de 100Ω munteu el circuit que s'esquematitza a la Figura 13.

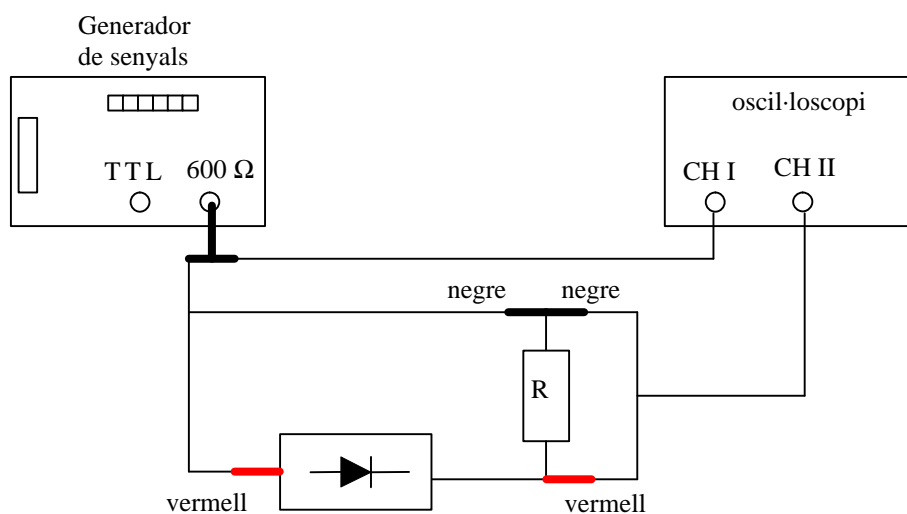


Figura 13

2. Enguegueu el generador i apliqueu un senyal triangular de 50 Hz.
3. Abans d'engegar l'oscil·loscopi comproveu que no té cap botó pitjat. Enguegueu-lo, poseu ambdós canals en posició GD (ground) i premeu el botó X-Y. A la pantalla ha d'aparèixer un punt que cal centrar a l'origen de coordenades amb els comandaments X-Pos i Y-Pos del canal I (no torneu a tocar aquests comandaments en tota la pràctica). Si aquest punt és molt intens, baixeu la intensitat fent girar el botó 'Intens'.
4. Un cop centrat el punt poseu els dos canals de l'oscil·loscopi en posició DC i despremeu GD.
5. Situeu el coeficient de deflexió del canal I en 0.5 V/div, i el II en 50 mV/div. Modifiqueu l'amplitud de sortida del generador amb el comandament "Amplitude" fins que a la pantalla aparegui la corba característica del díode indicada a la figura 1:
 - El canal I, a l'entrada del qual posa INP(X), és el senyal horitzontal, que en aquest cas és la tensió total (díode + resistència). Però, per al valor de R utilitzat, la tensió a borns de la resistència és petita comparada amb la tensió a borns del díode ($V_R \ll V_{diode}$), amb la qual cosa es pot considerar que la tensió total és pràcticament igual a la del díode.
 - L'altre canal és el senyal vertical, que en aquest cas és la tensió a borns de la resistència V_R , tensió que és proporcional a la intensitat de corrent que circula pel díode ($V_R = IR$).
6. Determineu el valor de la tensió llindar V_g .
7. Repetiu els apartats anteriors substituint el díode 1N4007 per un díode Zener DZ6V2. En aquest cas, el coeficient de deflexió del canal I ha de ser 2 V/div i l'altre 0.2 V/div.
8. Augmenteu l'amplitud de sortida del generador de funcions fins que observeu la conducció inversa.
9. Determineu els valors de les tensions Zener (V_Z^{oscil}) i llindar (V_g^{oscil}).

MOSTREU AL PROFESSOR ELS RESULTATS OBTINGUTS

2.2 Rectificació

2.2.1 Rectificació de mitja ona

1. Amb el díode 1N4007 i la resistència de 1 k Ω torneu a fer el muntatge descrit a la Figura 13.
2. Apliqueu un senyal sinusoidal de 500 Hz.
3. Despremeu el botó X-Y i poseu el canal I en AC i l'altre en DC.
4. Poseu la base de temps en 0.5 ms/div i situeu els coeficients de deflexió d'ambdós canals en 2 V/div. En aquesta situació:
 - El canal I ens mostra la tensió original (alterna) i el II la rectificadora (els semiperíodes negatius queden suprimits). Prement DUAL visualitzareu tots dos canals alhora.
5. Reguleu el comandament "Amplitude" del generador fins que el senyal de la pantalla sigui semblant al de la figura 4.

MOSTREU AL PROFESSOR LES CORBES OBTINGUDES

2.2.2 Rectificació d'ona completa

1. Amb el pont de díodes i la resistència de 1 k Ω munteu el circuit que s'esquematitza a la figura 14. **No us oblideu de treure el cable que connecta el generador de senyals i el canal I de l'oscil·loscopi.**

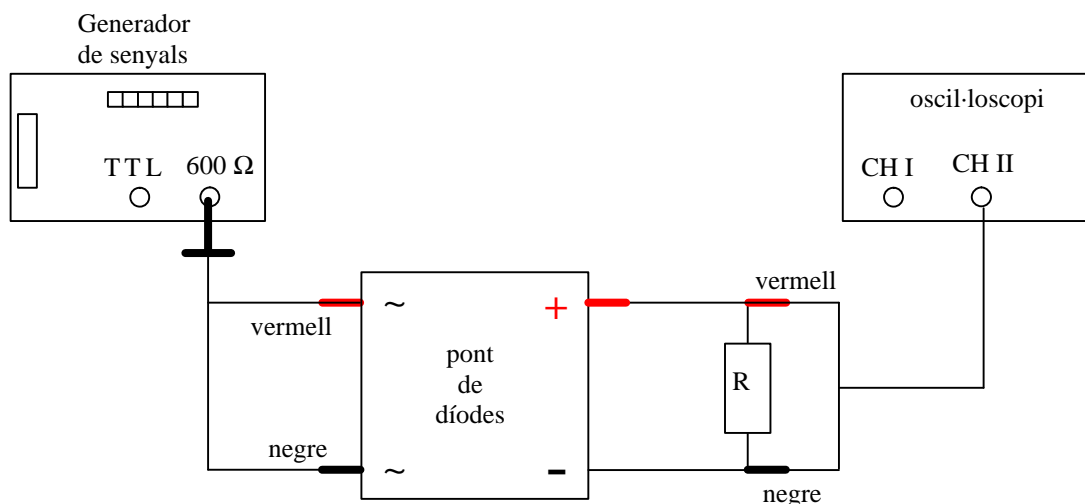


Figura 14

2. Apliqueu un senyal sinusoidal de 500 Hz.
3. Poseu el canal II en la posició DC i visualitzeu aquest canal. Ajusteu la base de temps a 0.5 ms/div i el coeficient de deflexió corresponent en 2 V/div.
4. Gireu convenientment el comandament "Amplitude" del generador de funcions per tal de veure la tensió rectificada (com a la Figura 6).

2.2.3 Amortiment de les oscil·lacions del corrent rectificat

1. Connecteu un condensador de 1 μF en paral·lel a la resistència. Heu d'observar un senyal semblant al de la Figura 8. Reguleu l'amplitud del senyal del generador per tal que el valor mitjà V_m del senyal sigui d'uns 2 V.
2. Repetiu el mateix amb un condensador de capacitat més gran (10 μF o 47 μF). Heu d'observar que el senyal és pràcticament continu. Determineu el valor d'aquesta tensió contínua i

MOSTREU AL PROFESSOR LA FIGURA OBTINGUDA

2.3 Circuit limitador de tensió

2.3.1 Comproveu que en el lloc de treball teniu:

- Un tauler de connexions.
- Una font de tensió.
- Un díode Zener.
- Resistències de valors nominals $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = R_3 = 200 \Omega$ i $R_4 = 50 \Omega$.
- Dos polímetres.
- Cables de connexió.
- Connectors en forma de pont

2.3.2 Comproveu del bon estat dels fils de connexió i de les resistències

1. Comproveu que tots els **cables de connexió** estan en bon estat. Per això feu funcionar un dels polímetres com a **ohmímetre** i, en l'escala amb més resolució, mesureu la resistència de cada cable. Si és més gran que 1Ω , o varia quan sacsegem el cable, aquest està en mal estat i cal canviar-lo.

2. Mesureu el valor real de les quatre **resistències** connectant-les directament al polímetre (Figura 15) funcionant com a **ohmímetre**.



Figura 15

2.3.3 Funcionament del polímetre

El polímetre ens permet mesurar resistències, intensitats i voltatges per diferents rangs, emprant diferents escales. En canviar d'escala, l'**amperímetre** i el **voltímetre** canvien el valor de la seva resistència R_A i R_V . Per aquest motiu, i durant **tota la pràctica**, utilitzarem la mateixa escala d'intensitats (fins a **0.2 A**) i de tensions (fins a **20 V**). En el cas de l'**ohmímetre** sempre utilitzarem l'escala que ens proporcioni la màxima resolució possible.

2.3.4 Limitació de la intensitat de la font de tensió

Abans d'engegar la font de tensió gireu els controls d'intensitat i tensió al màxim en sentit antihorari. Després engegueu la font de tensió i **limiteu la intensitat a un valor màxim de 0.2 A**. Per fer això, amb un dels cables de connexió, curtcircuiteu la font i moveu el control de tensió al màxim en sentit horari. Tot seguit, moveu el control d'intensitat en sentit horari fins assolir els 0.2 A, i deixeu-ho en aquesta posició durant tota la pràctica. D'aquesta forma es garanteix que pel circuit no circula un corrent prou gran com per malmetre el material o causar accidents.

2.3.5 Mesures

1. Amb les resistències i el díode Zener munteu en el tauler de connexions un circuit limitador de tensió com els de les Figures 12 i 16. Com mesurarem les intensitats que circulen per les diferents resistències convé que poseu ponts a fi de deixar espai per fer les connexions amb l'amperímetre.

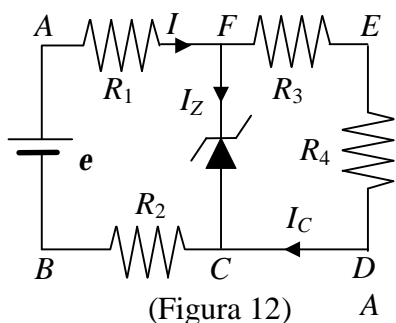


Figura 16

2. Connecteu la font de tensió entre els punts *A* i *B* del circuit tenint en compte les **polaritats** a fi que el díode estigui en **polarització inversa**.
3. Connecteu els dos polímetres a fi de **mesurar simultàniament la intensitat** que circula pel díode Zener (utilitzeu l'escala de fins 0.2 A) i la **tensió** V_{FC} (utilitzeu l'escala de fins 20 V).
4. Utilitzeu la fórmula (1) amb els valors $R = R_1 + R_2$ i $R_C = R_3 + R_4$, i el valor de V_Z determinat a la primera part de la pràctica, per calcular el valor teòric de $e_{\min Z}$ a partir del qual el **díode Zener comença a conduir**.
5. Poseu en marxa la font de tensió i mesureu la intensitat I_Z i la tensió del díode Zener V_{FC} per a valors de la fem de 5, 10, 15, 20 i 25 V. Observeu com el **díode condueix** per a valors de e superiors al calculat a l'apartat anterior i que quan condueix la tensió V_{FC} és manté pràcticament constant igual a V_Z . A mida que augmenteu el valor de la fem de la font fixeuvos per a quin valor concret de e la intensitat I_Z mesurada amb l'amperímetre comença a ser diferent de zero ($e_{\min Z}^{\text{mesurada}}$) i anoteu-la al full de pràctiques.
6. Varieu la fem de la font i mesureu amb el valor de V_{FC} per al qual $I_Z = 1$ mA. Aquest serà el valor de V_Z . Compareu aquest valor amb el que heu mesurat anteriorment amb **l'oscil·loscopi**.
7. Per al valor de la fem e de 20 V mesureu els valors de V_{FC} , I , I_Z i I_C . Amb aquests valors comproveu que la **potència donada** per la font és igual a la **potència dissipada** a les resistències i al díode. Utilitzeu la fórmula 2 i tingueu en compte que $R = R_1 + R_2$ i $R_C = R_3 + R_4$. Compareu els valors mesurats amb els que heu calculat teòricament al problema de l'apartat 1.3.

Díodes: Característiques i aplicacions

1. Tensions característiques dels díodes:

Díode 1N4007: $V_g =$

Díode Zener DZ6V2: $V_Z^{oscil} =$ $V_g^{oscil} =$


2. Rectificació

(Els espais buits de la taula són per al vist i plau del professor)

Rectificació de mitja ona	
Rectificació d'ona completa	
Amortiment de les oscil·lacions	

3. Circuit limitador de tensió en polarització inversa

Mesura del valor real de les resistències

R_1 (100 Ω) =	$R = R_1 + R_2 =$	$e_{\min Z}^{teorica} = \frac{R + R_C}{R_C} V_Z^{oscil} =$ 
R_2 (200 Ω) =		
R_3 (200 Ω) =	$R_C = R_3 + R_4 =$	
R_4 (50 Ω) =		

$e_{\min Z}^{mesurada} =$

Mesures de tensió i intensitat

e	V_{FC}	I_Z
5 V		
10 V		
15 V		
20 V		
25 V		

Mesura de la tensió Zener: $V_Z^{(1mA)} = V_{FC}(I_Z = 1 \text{ mA}) =$

$\longleftrightarrow V_Z^{oscil} =$

Balanç energètic

valors	e	V_{FC}	I_Z	I_C	I	eI	$RI^2 + R_C I_C^2 + V_{FC} I_Z$
mesurats	20 V						
teòrics	20 V						

