

Cours d'électronique spécialisée : Les alimentations

A. Arciniegas
V. Gauthier

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville



- 1 Généralités
- 2 Circuits de redressement sans filtrage
- 3 Circuits de redressement avec filtrage
- 4 Régulateur de tension
- 5 Synthèse globale

Généralités

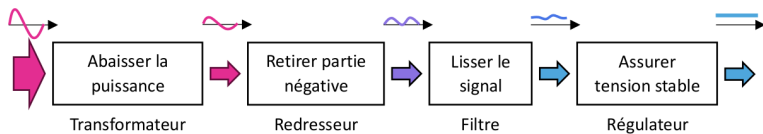


Schéma bloc d'une alimentation simple.

Circuits de redressement sans filtrage

Redresseur

Définition : Circuit permettant au courant de circuler dans une seule direction (polarité).

Redresseur

Définition : Circuit permettant au courant de circuler dans une seule direction (polarité).

Il en existe différents types :

- Simple alternance

Redresseur

Définition : Circuit permettant au courant de circuler dans une seule direction (polarité).

Il en existe différents types :

- Simple alternance
- Double alternance

Redresseur

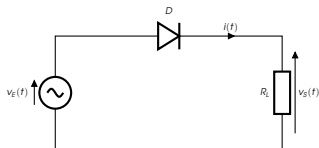
Définition : Circuit permettant au courant de circuler dans une seule direction (polarité).

Il en existe différents types :

- Simple alternance
- Double alternance
- En pont

Redresseur simple alternance

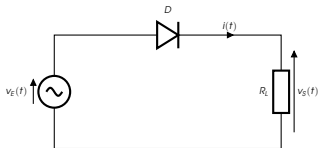
En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



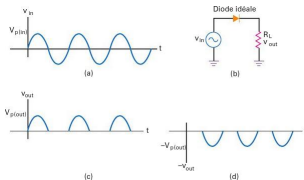
La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



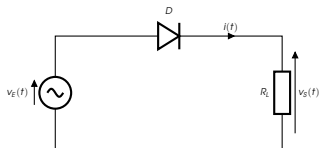
La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



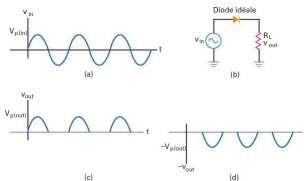
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



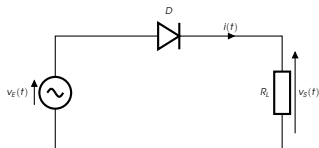
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

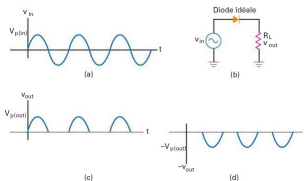
- 1 diode ;

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



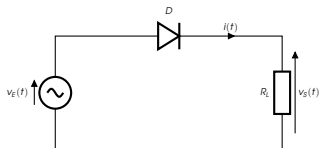
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

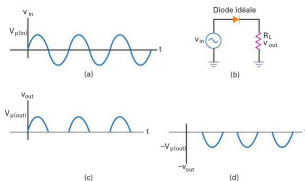
- 1 diode ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p ;

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



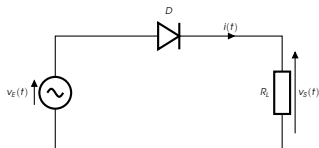
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

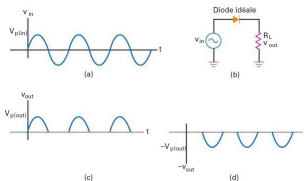
- 1 diode ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p ;

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



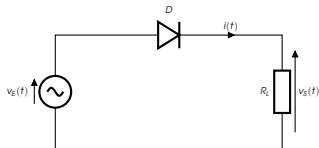
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

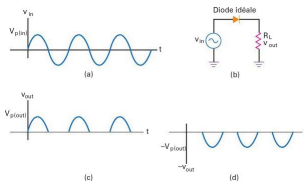
- 1 diode ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 0,7 \text{ V}$;

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



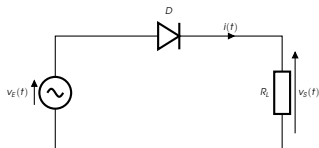
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

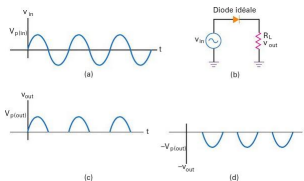
- 1 diode ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 0,7 \text{ V}$;
- Sortie DC ($V_p \gg 0,7$) : $V_{smoy} \approx \frac{V_p}{\pi}$;

Redresseur simple alternance

En BUT1, nous avons étudié le montage suivant :



La tension $v_E(t)$ est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{Eeff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ et de fréquence $f_e = 50 \text{ Hz}$.



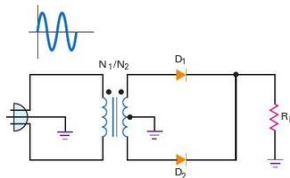
Comportement redresseur simple alternance (d'après A. Malvino).

Caractéristiques

- 1 diode ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 0,7 \text{ V}$;
- Sortie DC ($V_p \gg 0,7$) : $V_{smoy} \approx \frac{V_p}{\pi}$;
- Fréquence ondulation : f_e ;

Redresseur double alternance (1/2)

On étudie le montage suivant :

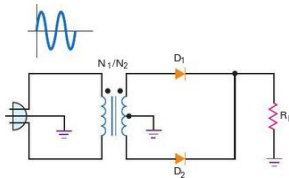


Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.

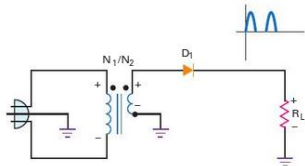
Redresseur double alternance (1/2)

On étudie le montage suivant :



Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

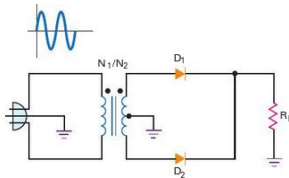
La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.



Circuit équivalent pour l'alternance positive
(d'après A. Malvino).

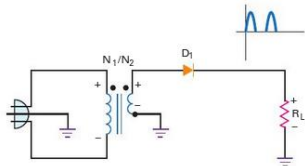
Redresseur double alternance (1/2)

On étudie le montage suivant :

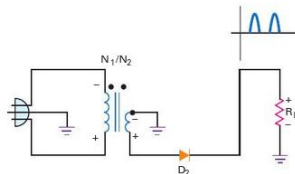


Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.



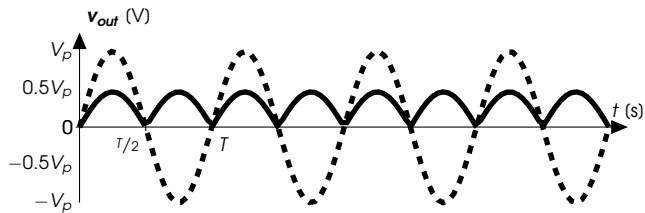
Circuit équivalent pour l'alternance positive (d'après A. Malvino).



Circuit équivalent pour l'alternance négative (d'après A. Malvino).

Redresseur double alternance (2/2)

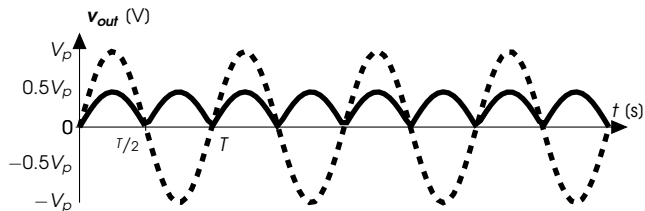
En résumé :



Signal de sortie du redresseur.

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



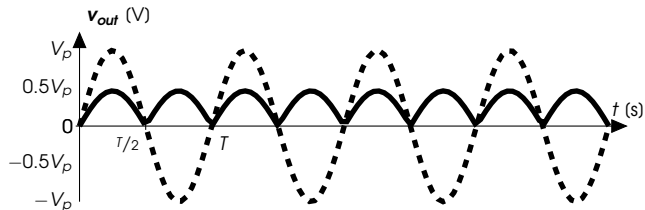
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



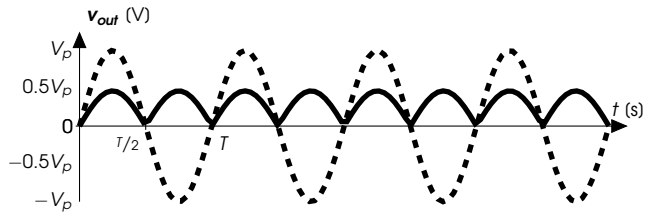
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



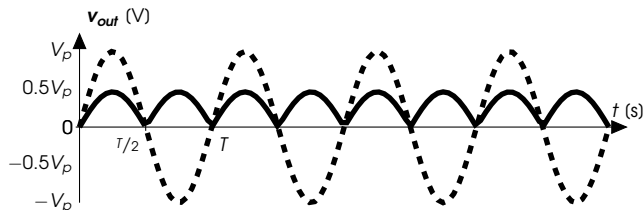
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



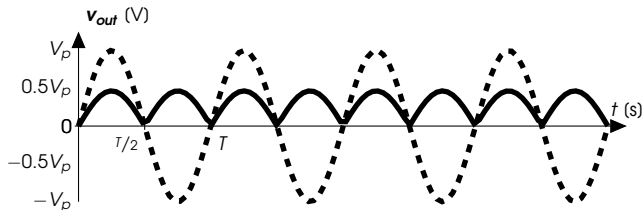
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = 0,5V_p - 0,7 \text{ V}$;

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



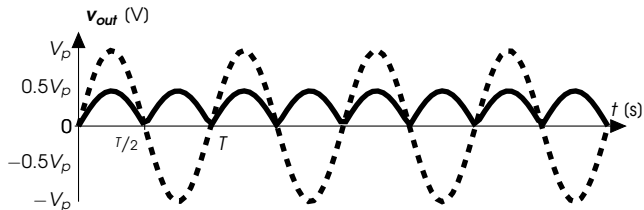
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = 0,5V_p - 0,7 \text{ V}$;
- Sortie DC : $V_{Smoy} = \frac{V_p}{\pi}$;

Redresseur double alternance (2/2)

En résumé :



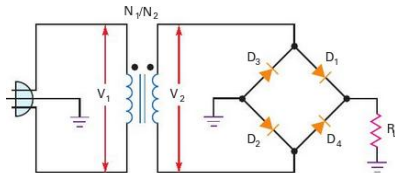
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 2 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $0,5V_p$ du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = 0,5V_p - 0,7 \text{ V}$;
- Sortie DC : $V_{Smoy} = \frac{V_p}{\pi}$;
- Fréquence ondulation : $2f_e$;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

On étudie le montage suivant :

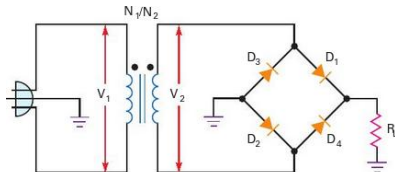


Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.

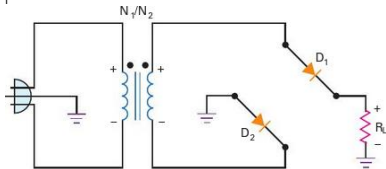
Redresseur en pont de Graetz (2/2)

On étudie le montage suivant :



Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

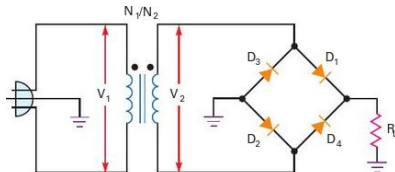
La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.



Circuit équivalent pour l'alternance positive (d'après A. Malvino).

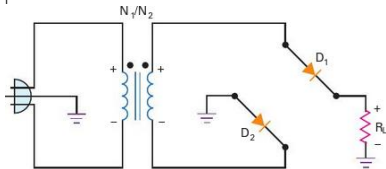
Redresseur en pont de Graetz (2/2)

On étudie le montage suivant :

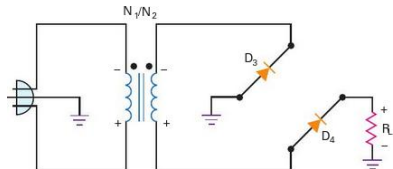


Redresseur double alternance (d'après A. Malvino).

La tension du secondaire $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$ est une tension sinusoïdale, avec $v_1(t)$ la tension du primaire et $\frac{N_2}{N_1}$ le rapport de transformation.



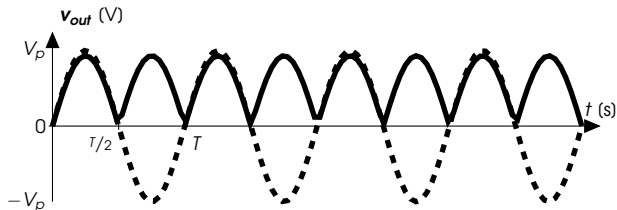
Circuit équivalent pour l'alternance positive (d'après A. Malvino).



Circuit équivalent pour l'alternance négative (d'après A. Malvino).

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

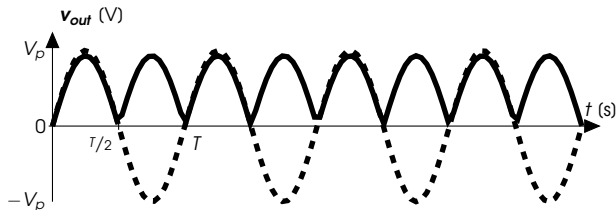
En résumé :



Signal de sortie du redresseur.

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



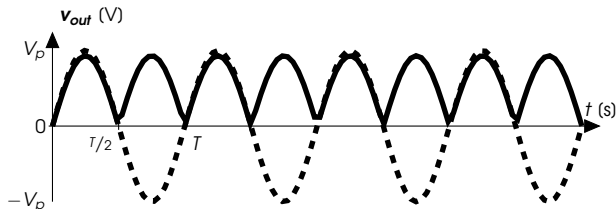
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 4 diodes ;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



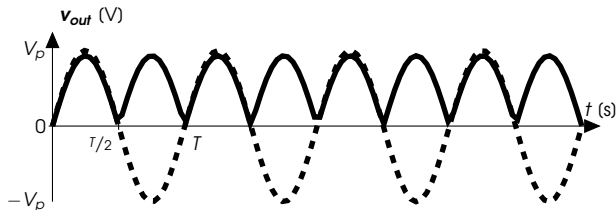
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 4 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



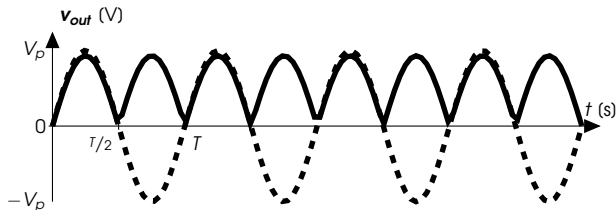
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 4 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



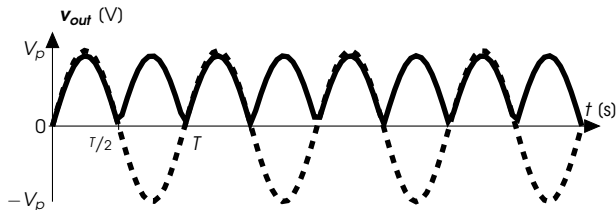
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 4 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_S(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 1,4 \text{ V}$;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



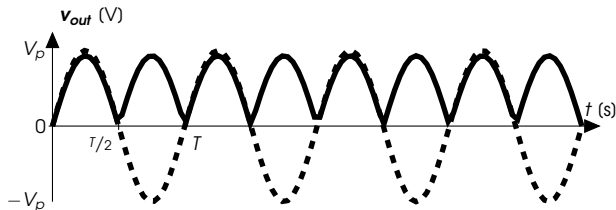
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

- 4 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_s(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_s(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 1,4 \text{ V}$;
- Sortie DC : $V_{Smoy} = \frac{2V_p}{\pi}$;

Redresseur en pont de Graetz (2/2)

En résumé :



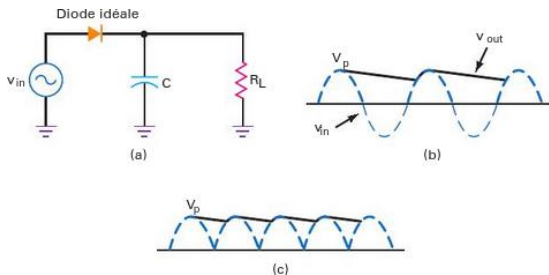
Signal de sortie du redresseur.

Caractéristiques

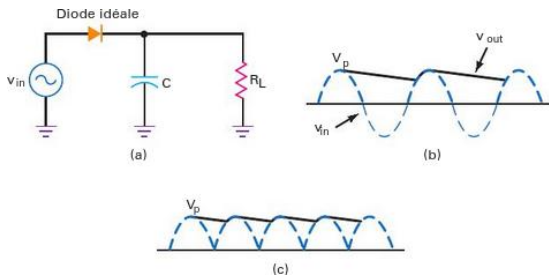
- 4 diodes ;
- Entrée du redresseur : signal sinusoïdal $v_E(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (idéal) : signal sinusoïdal $v_s(t)$ de tension crête V_p du secondaire ;
- Sortie du redresseur (réel) : signal sinusoïdal $v_s(t)$ de tension crête $V'_p = V_p - 1,4 \text{ V}$;
- Sortie DC : $V_{Smoy} = \frac{2V_p}{\pi}$;
- Fréquence ondulation : $2f_e$;

	Simple alternance	Double alternance	Pont
Nombre de diodes	1	2	4
Entrée du redresseur	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Sortie du redresseur (idéal)	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Sortie du redresseur (réel)	$V_{p(2)}-0,7$	$0,5V_{p(2)}-0,7$	$V_{p(2)}-1,4$
Sortie DC	$\frac{V_p}{\pi}$	$\frac{V_p}{\pi}$	$\frac{2V_p}{\pi}$
Fréquence ondulation	f_e	$2f_e$	$2f_e$

Circuits de redressement avec filtrage

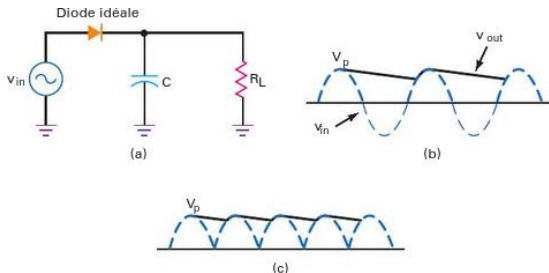


Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).



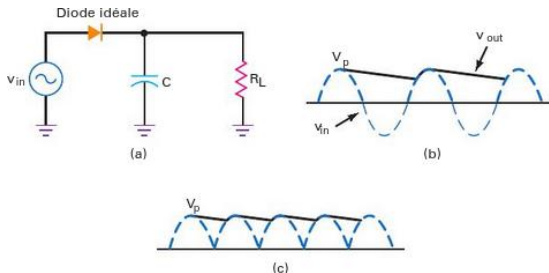
Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).

- Pour que le filtre à condensateur en tête soit utile, il doit être relié à une résistance de charge (R_L).



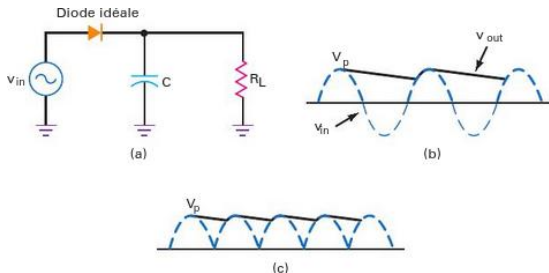
Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).

- Pour que le filtre à condensateur en tête soit utile, il doit être relié à une résistance de charge (R_L).
- Tant que la constante de temps $\tau = R_L C$ est nettement plus grande que la période, le condensateur reste largement chargé et la tension est approximativement V_p .



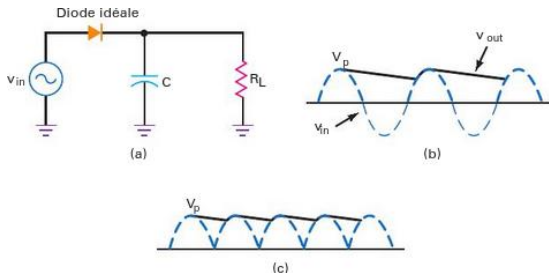
Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).

- Pour que le filtre à condensateur en tête soit utile, il doit être relié à une résistance de charge (R_L).
- Tant que la constante de temps $\tau = R_L C$ est nettement plus grande que la période, le condensateur reste largement chargé et la tension est approximativement V_p .
- La seule perturbation par rapport à une tension DC idéale est la faible ondulation (tension V_R).



Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).

- Pour que le filtre à condensateur en tête soit utile, il doit être relié à une résistance de charge (R_L).
- Tant que la constante de temps $\tau = R_L C$ est nettement plus grande que la période, le condensateur reste largement chargé et la tension est approximativement V_p .
- La seule perturbation par rapport à une tension DC idéale est la faible ondulation (tension V_R).
- Pour un filtre à condensateur connecté à un redresseur double alternance ou à un redresseur en pont, l'amplitude de l'ondulation est divisée par deux.



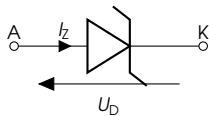
Redresseur avec filtre à condensateur chargé (d'après A. Malvino).

- Pour que le filtre à condensateur en tête soit utile, il doit être relié à une résistance de charge (R_L).
- Tant que la constante de temps $\tau = R_L C$ est nettement plus grande que la période, le condensateur reste largement chargé et la tension est approximativement V_p .
- La seule perturbation par rapport à une tension DC idéale est la faible ondulation (tension V_R).
- Pour un filtre à condensateur connecté à un redresseur double alternance ou à un redresseur en pont, l'amplitude de l'ondulation est divisée par deux.
- La tension d'ondulation crête-à-crête vaut $V_R = \frac{V_p}{f R_L \tau}$ (non démontré).

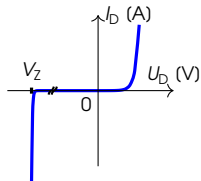
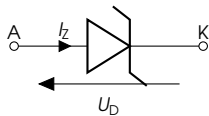
	Simple alternance	Double alternance	Pont
Nombre de diodes	1	2	4
Entrée du redresseur	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Sortie DC (idéale)	$V_{p(2)}$	$0,5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Sortie DC (réelle)	$V_{p(2)}-0,7$	$0,5V_{p(2)}-0,7$	$V_{p(2)}-1,4$
Fréquence ondulation	f_e	$2f_e$	$2f_e$
Tension Inverse Crête	$2V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Courant dans la diode	I_{DC}	$0,5I_{DC}$	$0,5I_{DC}$

Régulateur de tension

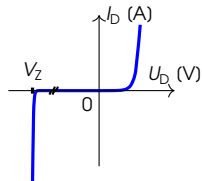
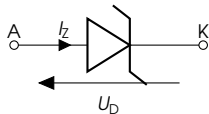
Un premier régulateur : La diode Zener



Un premier régulateur : La diode Zener



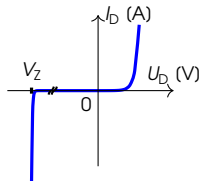
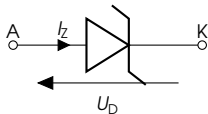
Un premier régulateur : La diode Zener



Caractéristiques

C'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage.

Un premier régulateur : La diode Zener



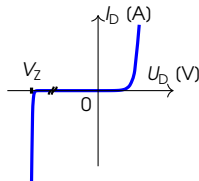
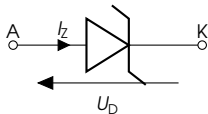
Caractéristiques

C'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage.

Dans cette zone :

- Elle présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance presque verticale du courant.

Un premier régulateur : La diode Zener



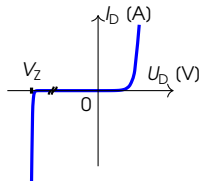
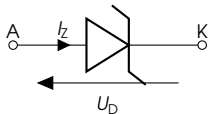
Caractéristiques

C'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage.

Dans cette zone :

- Elle présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance presque verticale du courant.
- La tension est presque constante, approximativement égale à V_Z .

Un premier régulateur : La diode Zener



Caractéristiques

C'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage.

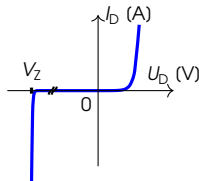
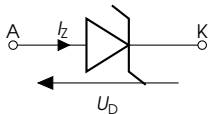
Dans cette zone :

- Elle présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance presque verticale du courant.
- La tension est presque constante, approximativement égale à V_Z .

Utilisation

Régulation de tension connectée en dérivation (**régulateur** shunt) car elle permet d'obtenir une tension continue fixe inférieure à celle donnée par une alimentation.

Un premier régulateur : La diode Zener



Caractéristiques

C'est une diode au silicium que le constructeur a optimisée pour opérer dans la zone de claquage.

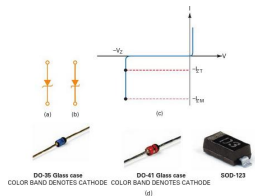
Dans cette zone :

- Elle présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance presque verticale du courant.
- La tension est presque constante, approximativement égale à V_Z .

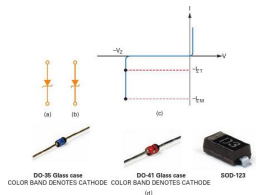
Utilisation

Régulation de tension connectée en dérivation (**régulateur** shunt) car elle permet d'obtenir une tension continue fixe inférieure à celle donnée par une alimentation.

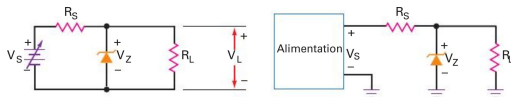
Application : alimentation stabilisée et protection contre les surtensions.



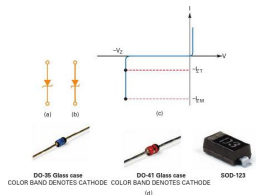
Diode Zener (d'après A. Malvino).



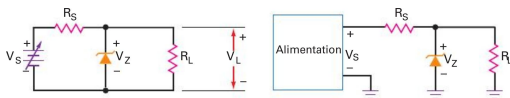
Diode Zener (d'après A. Malvino).



Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

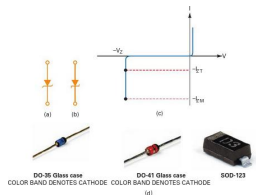


Diode Zener (d'après A. Malvino).

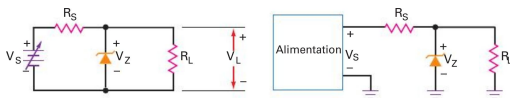


Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

- À cause du pont diviseur, la tension de Thévenin appliquée sur la diode est $V_{TH} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$. Elle doit être supérieure à V_Z .

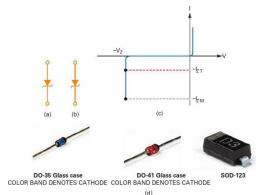


Diode Zener (d'après A. Malvino).

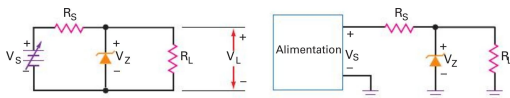


Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

- ➊ À cause du pont diviseur, la tension de Thévenin appliquée sur la diode est $V_{TH} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$. Elle doit être supérieure à V_Z .
- ➋ Le courant série à travers la résistance de limitation de courant R_S est $I_S = \frac{V_{TH} - V_Z}{R_S}$.

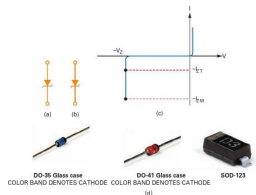


Diode Zener (d'après A. Malvino).

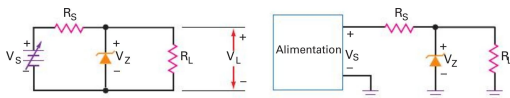


Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

- ➊ À cause du pont diviseur, la tension de Thévenin appliquée sur la diode est $V_{TH} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$. Elle doit être supérieure à V_Z .
- ➋ Le courant série à travers la résistance de limitation de courant R_S est $I_S = \frac{V_{TH} - V_Z}{R_S}$.
- ➌ Le courant dans la charge est $I_L = \frac{V_Z}{R_L}$.

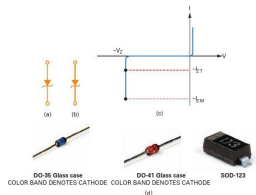


Diode Zener (d'après A. Malvino).

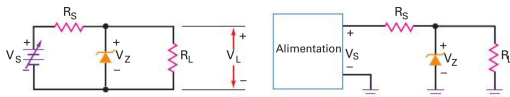


Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

- À cause du pont diviseur, la tension de Thévenin appliquée sur la diode est $V_{TH} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$. Elle doit être supérieure à V_Z .
- Le courant série à travers la résistance de limitation de courant R_S est $I_S = \frac{V_{TH} - V_Z}{R_S}$.
- Le courant dans la charge est $I_L = \frac{V_Z}{R_L}$.
- Le courant dans la diode est $I_Z = I_S - I_L$.



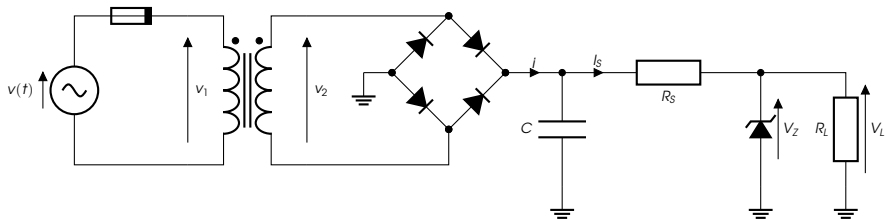
Diode Zener (d'après A. Malvino).

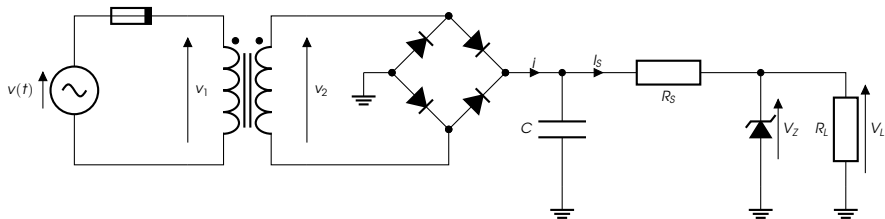


Régulateur Zener chargé (d'après A. Malvino).

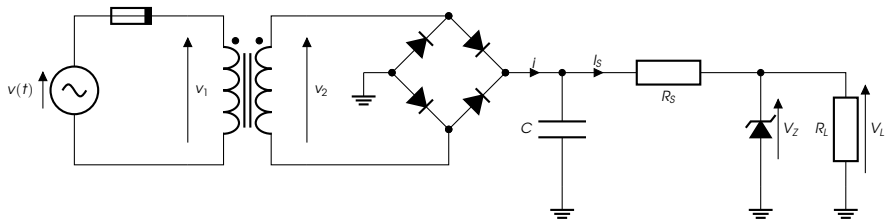
Autre solution : utilisation d'un régulateur de tension intégré (p.e séries LM78XX et LM79XX).

Synthèse globale

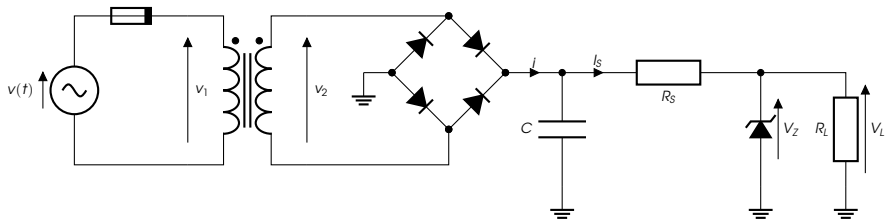




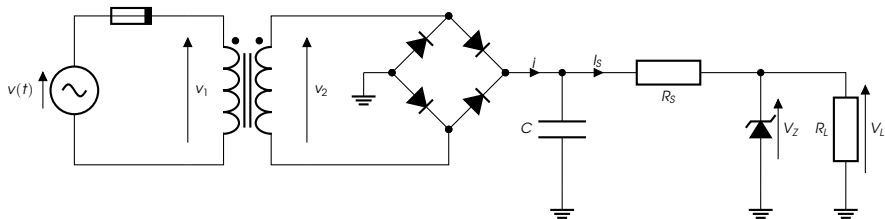
Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal



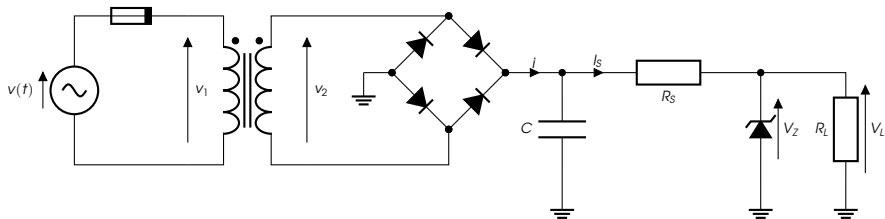
Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal
Toutes les diodes coupées	OK	OK	zéro	zéro	rien	pas de signal



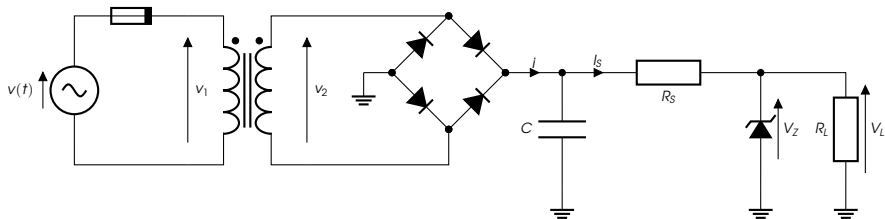
Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal
Toutes les diodes coupées	OK	OK	zéro	zéro	rien	pas de signal
Une diode coupée	OK	OK	basse	haute	f_e	signal simple alternance



Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal
Toutes les diodes coupées	OK	OK	zéro	zéro	rien	pas de signal
Une diode coupée	OK	OK	basse	haute	f_e	signal simple alternance
Condensateur coupé	OK	OK	basse	haute	$2f_e$	signal double alternance



Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal
Toutes les diodes coupées	OK	OK	zéro	zéro	rien	pas de signal
Une diode coupée	OK	OK	basse	haute	f_e	signal simple alternance
Condensateur coupé	OK	OK	basse	haute	$2f_e$	signal double alternance
Fuite du condensateur	OK	OK	basse	haute	$2f_e$	basse



Problème	v_1	v_2	V_C	V_R	f_R	État de sortie non régulée
Fusible coupé	zéro	zéro	zéro	zéro	rien	pas de signal
Toutes les diodes coupées	OK	OK	zéro	zéro	rien	pas de signal
Une diode coupée	OK	OK	basse	haute	f_e	signal simple alternance
Condensateur coupé	OK	OK	basse	haute	$2f_e$	signal double alternance
Fuite du condensateur	OK	OK	basse	haute	$2f_e$	basse
Enroulement court-circuité	OK	basse	basse	OK	$2f_e$	basse