

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE GUELMA

Faculté des Sciences et de la
Technologie

Département d'Électronique et
Télécommunications



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قلمة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم الإلكترونيك والاتصالات

السلكية و اللاسلكية

TRAVAUX PRATIQUES
D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE
Troisième année Licence

Préparé par :

Dr: MENASRIA Azzeddine

Année universitaire : 2020-2021

Sommaire

Avant-propos 1

TPN°1 : Redresseurs non commandés: Monophasés et triphasés..... 3

- I. REDRESSEMENT NON COMMANDE
- II. REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE SUR CHARGE RESISTIVE
- III. REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE SUR CHARGE INDUCTIVE
- IV. REDRESSEMENT MONOPHASÉ NON COMMANDE DOUBLE ALTERNANCE (AVEC PONT DE GRAETZ)
- V. REDRESSEMENT TRIPHASE SIMPLE ALTERNANCE

TPN°2 : Redresseurs commandés: Monophasés simple et double alternance 18

- I. REDRESSEMENT MONOPHASE COMMANDE
- II. REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE COMMANDE
- III. REDRESSEMENT MONOPHASE DOUBLE ALTERNANCE COMMANDE

TPN°3 : Hacheurs: hacheur série 29

- I. HACHEUR SERIE (OU ABAISSEUR DE TENSION)

TPN°4 : Gradateurs: monophasés 35

- I. LE GRADATEUR MONOPHASE

TPN°5 :Onduleurs monophasés..... 42

AVANT-PROPOS

L'électronique de puissance est l'une des branches de l'électrotechnique, elle concerne l'étude de la conversion statique de l'énergie électrique, la conversion est réalisée au moyen des convertisseurs permettant de changer la forme de l'énergie électrique disponible en une forme appropriée à l'alimentation d'une charge.

L'électronique de puissance permet d'étudier plusieurs convertisseurs avec plusieurs topologies. Ce document s'adresse aux étudiants de la formation licence en Electronique dans le cadre du programme officiel pour approfondir leurs connaissances et certaines notions théoriques présentées dans le cours « électronique de puissance ».

Les textes de travaux pratiques présentés dans ce polycopié sont constitués d'une partie théorique suivie d'expérimentations avec des résultats et des commentaires explicatifs.

Ce polycopié contient cinq activités expérimentales, chacune d'elles comporte :

- Un complément théorique de travaux pratiques ayant pour but d'exposer les aspects essentiels et nécessaires au bon déroulement des manipulations proposées. En effet, l'étudiant doit obligatoirement, en prendre connaissance, pour bien comprendre sa tâche. Une manipulation doit être faite mentalement avant d'être exécutée matériellement.
- Avant de s'en servir des appareils requis, il faut connaître leur principe, leur fonctionnement et leur maniement.
- Les manipulations proposées, complétées d'un schéma de montage et d'un mode opératoire détaillé. En effet, l'étudiant doit traiter des questions liées au travail expérimental, toutes tributaires des phénomènes variés mise en jeu dans le redressement.
- Notons toutefois qu'un travail de préparation à effectuer avant la séance programmée au laboratoire comportant ; les schémas de montages à réaliser, les tableaux nécessaires aux différents relevés, doit être obligatoirement montré en début de séance à l'enseignant, qui en tiendra compte dans son évaluation.

TPN°1 :

REDRESSEURS NON COMMANDES : MONOPHASES ET TRIPHASES

DEFINITION

Les convertisseurs AC/DC, souvent appelés redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui permettent d'obtenir une tension continue (de valeur moyenne non nulle) à partir d'une tension alternative sinusoïdale *monophasée ou triphasées* (de valeur moyenne nulle). On distingue le redressement *non commandé*, utilisant uniquement des diodes et délivrant une tension de valeur moyenne non réglable et le redressement *commandé*, utilisant des thyristors permettant d'obtenir une tension de valeur moyenne réglable.

I. REDRESSEMENT NON COMMANDE

Le redressement permet d'obtenir un courant unidirectionnel à partir d'une source alternative, principalement monophasée ou triphasée. Les redresseurs sont du type simple alternance ou double alternance. En général, le lissage du courant par inductance est utilisé pour les fortes puissances, et le lissage de la tension par condensateur pour les faibles puissances.

Objectifs

Dans cette expérience, les étudiants effectueront des tests expérimentaux sur un circuit de base de convertisseur AC-DC non commandé (redresseur à diode). Et après avoir terminé ce travail de TP, l'étudiant sera capable de :

- Se familiariser avec le fonctionnement d'un redresseur à diode monophasé avec des charges résistives et inductives à simple alternance et à double alternance et leurs paramètres de performance.
- Déterminer les caractéristiques de performance du redresseur non commandé avec ses différentes topologies.
- Connaître les effets d'une diode de roue libre sur les performances du redresseur.
- Tracer et analyser les variations temporelles de la tension et du courant continu, ainsi que de la tension de la diode.
- Déterminer le facteur de forme et le taux d'ondulation.

I.1 REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE SUR CHARGE RESISTIVE

Les redresseurs mono-alternance ou demi-alternance représentent la forme la plus simple de convertisseur statique. Dans ce type de redressement, nous utiliserons une seule diode.

On considère le montage d'un redresseur simple alternance comportant une source sinusoïdale et une diode pour alimenter une charge résistive (Figure I.1).

ETUDE THEORIQUE

L'étude d'un montage redresseur porte sur :

- la recherche de la forme de la tension redressée $V_{ch}(t)$ et le courant redressé $I_{ch}(t)$: étude des semi-conducteurs en conduction et de leur durée de conduction ;
- le calcul de la valeur moyenne V_{chmoy} de $V_{ch}(t)$;
- le calcul de la valeur efficace V_{cheff} de $V_{ch}(t)$;
- le calcul de la puissance (puissance de la charge P_{ch} , puissance apparente S ;
- le calcul du Facteur de puissance f_p , facteur de forme F et le taux d'ondulation K .

Diode de puissance :

C'est un interrupteur unidirectionnel en courant non commandable ni à la fermeture ni à l'ouverture : Blocage et amorçage naturel.

Hypothèse : Les semi-conducteurs employés, en particulier les diodes, sont supposés parfaits : tension de seuil, résistance dynamique en direct et courant inverse nuls.

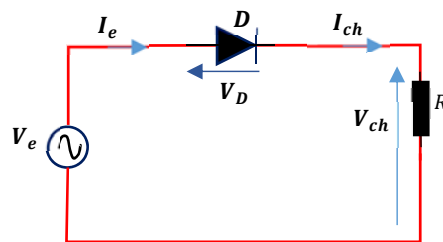


Fig I.1: Redressement non commandé mono-alternance sur charge résistive

Analyse de fonctionnement

La diode est bloquée lorsque le courant i est négatif, et conductrice lorsque i est positif.

Pour une tension sinusoïdale d'entrée $V_e(t)$ de valeur maximale V_{emax} et de pulsation ω

$V_e(t) = V_{max} \sin(\omega t)$ la tension aux bornes de la résistance R est V_{ch}

- Pour $0 < \omega t < \pi$: $V_e(t) > 0 \Rightarrow D$ passante

$$V_{ch} = V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t) \quad (I.1)$$

$$I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R} = \frac{V_{emax}}{R} \sin(\omega t) \quad (I.2)$$

$$V_D = 0$$

- Pour $\pi < \omega t < 2\pi$: $V_e(t) < 0 \Rightarrow D$ Bloquée

$$V_{ch} = 0$$

$$I_{ch} = 0$$

$$V_D = V_e(t)$$

Les formes d'ondes des tensions V_{ch} , I_{ch} et V_D sont illustrés par les chronogrammes de la figure I.2.

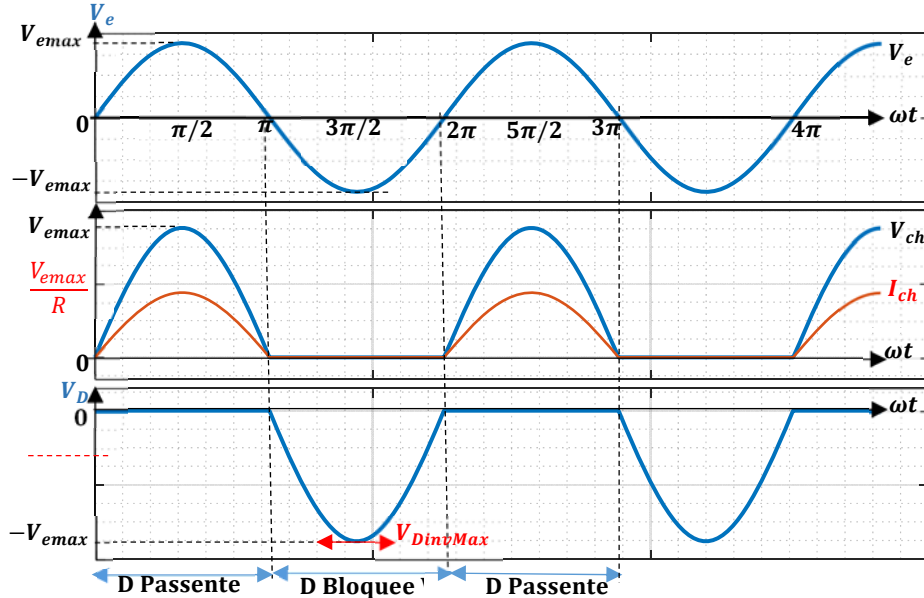


Fig I.2 : Tensions d'entrée et de sortie pour redressement non commandé mono-alternance sur charge résistive

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_e(t) dt$$

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_{max} \sin(\omega t) dt = \frac{V_{emax}}{\pi} \quad (I.3)$$

Valeur moyenne du courant de charge :

$$I_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{ch}(t)}{R} dt$$

$$I_{chmoy} = \frac{1}{R} \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_{ch}(t) dt = \frac{V_{chmoy}}{R} = \frac{V_{emax}}{\pi R} \quad (I.4)$$

Valeur efficace de la tension aux bornes de la charge :

$$(V_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} (V_e(t))^2 dt$$

$$V_{cheff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} (V_{emax} \sin(\omega t))^2 dt} = \frac{V_{emax}}{2} \quad (I.5)$$

Valeur efficace du courant de charge :

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (I_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{ch}(t)/R)^2 dt$$

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{1}{T} \int_0^T (V_{ch}(t))^2 dt \right] = \frac{(V_{cheff})^2}{R^2}$$

$$I_{cheff} = \frac{V_{cheff}}{R} = \frac{V_{emax}}{2R} \quad (I.6)$$

Facteur de forme : Plus F tend vers 1, plus la tension redressée $V_{ch}(t)$ peut être considérée comme continue

$$F = \frac{V_{cheff}}{V_{chmoy}} = \frac{V_{emax}}{2} \frac{\pi}{V_{emax}} = \frac{\pi}{2} \quad (I.7)$$

Facteur d'ondulation : Plus t tend vers 0, plus la tension redressée $V_{ch}(t)$ peut être considérée comme continue.

$$K = \frac{V_{chMAX} - V_{chMin}}{V_{chmoy}} = \frac{V_{emax} - 0}{\frac{V_{emax}}{\pi}} = \pi$$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{DMAX} = \text{Max}|V_D| = V_{emax}$

Puissance de la charge : $P_{ch} = V_{chmoy} \cdot I_{ch} = \frac{2V_{emax}}{\pi} \cdot I_{ch}$

Puissance apparente : $S = V_{eff} \cdot I_{eff} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}} \frac{I_{ch}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{emax}}{2} I_{ch}$

Facteur de puissance : $f_p = \frac{P_{ch}}{S} = \frac{1}{\pi}$

I.2 REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE SUR CHARGE INDUCTIVE

La charge résistive est remplacée par une charge à caractère inductif composée d'une résistance R en série avec d'une inductance L , **figure (I.3)**. Ce montage permet de lisser le courant et pour d'éviter l'apparition de tensions négatives aux bornes de la charge, il faut aussi placer une diode de roue libre en parallèle avec cette dernière **figure(I.4)**.

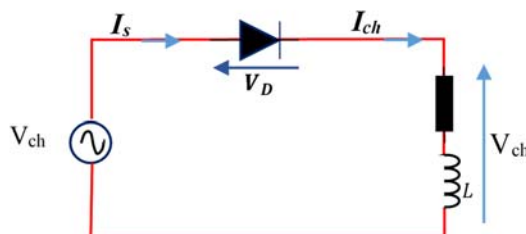


Fig I.3: Redressement non commandé mono-alternance sur charge inductive

ETUDE THEORIQUE SANS DIODE DE ROUE LIBRE :

Sans la diode de roue libre D_{RL} le courant qui est déphasé de la tension (il est en retard) va poursuivre son passage à travers la diode même si la tension de la source devient négative (la diode est polarisée en inverse). Cela va provoquer l'apparitions d'une tension négative aux bornes de la charge (la résistance et l'inductance)

Le courant I_{ch} s'annule à l'angle θ_e une fois que toute l'énergie stockée dans l'inductance est retournée à la source de tension, voir [figure I.4](#)

Analyse

La diode est passante lorsque la tension aux bornes de RL est positive et elle se bloque par annulation de courant.

Si la diode D est bloquée ; ce qui entraîne que le courant traversant la diode est nul $I_{ch} = 0$.

La tension aux bornes de la charge est alors nulle

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = 0 \quad (I.8)$$

Si la diode D est passante $V_{ch} = V_e$

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_{emax} \sin(\omega t) \quad (I.9)$$

Equation différentielle de 1^{er} ordre avec second membre sinusoïdale. Le courant i_{ch} est, la somme de deux courants i_f courant permanent ou forcé et i_l courant libre ou transitoire donc

$$i_{ch} = i_f + i_l$$

On a donc :

$$i_{ch}(\theta) = \frac{V_{emax}}{Z} \sin(\theta - \varphi) + K e^{\left(-\frac{\theta}{\tau}\right)}$$

Avec $Z = \sqrt{(R)^2 + (L\omega)^2}$, $\tau = \frac{L\omega}{R}$, $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{L\omega}{R}\right)$ et $\theta = \omega t$

K est une constante que l'on détermine à partir de conditions initiales

(à $\theta = 0 \Rightarrow i_{ch}(0) = 0$) donc $k = -\frac{V_{emax}}{Z} \sin(\varphi)$

$$i_{ch}(\theta) = \frac{V_{emax}}{Z} \left[\sin(\theta - \varphi) + \sin(\varphi) e^{\left(-\frac{\theta}{\tau}\right)} \right] \quad (I.10)$$

L'extinction du courant à l'instant $\omega t = \theta_e$

$$\sin(\theta_e - \varphi) + \sin(\varphi) e^{\left(-\frac{\theta_e}{\tau}\right)} = 0$$

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{chmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta_e} V_e(\theta) d\theta = \frac{V_{emax}}{2\pi} [1 - \cos(\theta - \varphi)] \quad (I.11)$$

Valeur moyenne du courant de charge :

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} \Rightarrow V_{chmoy} = RI_{chmoy}$$

$$I_{chmoy} = \frac{V_{chmoy}}{R} \quad (I.12)$$

Valeur efficace de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{cheff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta_e} (V_e(\theta) d\theta)^2 dt} = \sqrt{\frac{V_{emax}}{2\pi} \left[\theta_e - \frac{1}{2} \cos(\theta - \varphi) \right]} \quad (I.13)$$

Avec diode de roue libre :

Une diode de roue libre fournit un chemin pour la continuité du courant de la charge inductive pendant le demi-cycle négatif de la tension d'entrée. Ainsi, il lisse la charge et améliore le facteur de puissance d'entrée et aussi de protéger la charge et la diode de redressement D.

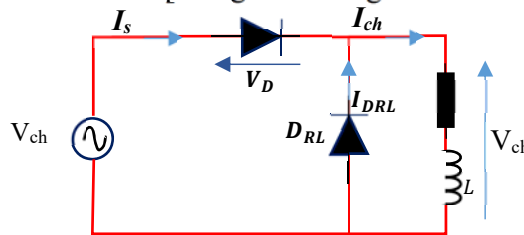


Fig I.4 : Redressement non commandé mono-alternance avec diode de roue libre

Analyse

La diode de roue libre D_{RL} se met à conduire dès que la tension aux bornes de la charge devient négative. Pendant la conduction de D_{RL} , l'inductance fournit à la résistance de l'énergie précédemment emmagasinée sous forme électromagnétique.

Les formes d'ondes des tensions V_{ch} , V_{ch} , I_{ch} et I_s sont illustrés par les chronogrammes de la figure (I.5):

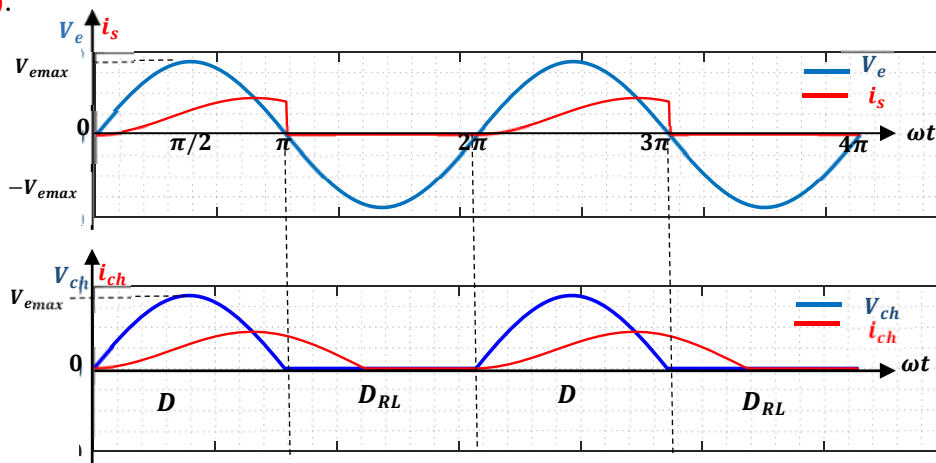


Fig.I.5 : Courbes courant et tension du redresseur non commandé diode de roue libre à charge ohmique

Pour $0 < \omega t < \pi$: $V_e(t)$ est positive, la diode D conduit et la diode D_{RL} , la tension aux bornes de RL est : $V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t)$

La solution du courant sera :

$$i_{ch}(\theta) = \frac{V_{emax}}{Z} [\sin(\theta - \varphi) + \sin(\varphi) e^{(-\theta/\tau)}] \quad (I.14)$$

Pour $\pi < \omega t < 2\pi$: la diode D_{RL} passante alors que la diode D est bloquée, on a la tension aux bornes de RL est :

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{d\theta} = 0 \text{ Pour } \theta = \pi \text{ on a } i_{ch}(\pi) = I_\pi$$

$$i_{ch}(\theta) = I_\pi e^{-\left(\frac{\theta-\pi}{\tau}\right)}$$

L'inductance L s'oppose aux variations du courant I_{ch} . Elle lisse le courant. Si on donne à L une valeur suffisante, le courant dans la charge devient ininterrompu : c'est le régime de conduction continu.

II. REDRESSEMENT MONOPHASÉ NON COMMANDE DOUBLE ALTERNANCE (AVEC PONT DE GRAETZ)

ETUDE THEORIQUE : Avec charge résistives

Le schéma de la *Figure I.6* représente un redresseur à diodes appelé aussi *Pont de Graëtz* ou *PD2*. Pour une tension sinusoïdale d'entrée $V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t)$ la tension aux bornes de la résistance R est V_{ch} .

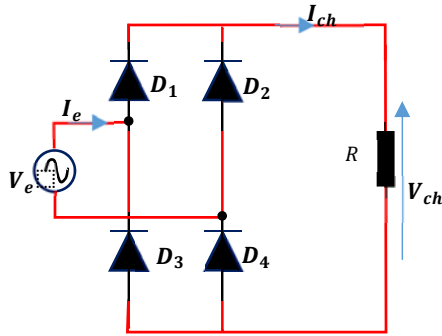


Fig I.6: Redressement non commandé double-alternance sur charge résistive

- Pour $0 < \omega t < \pi : V_e(t) > 0 \Rightarrow D_1$ et D_4 passantes ; D_2 et D_3 bloquées :

$$V_{ch} = V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t) \quad (I.15)$$

$$I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R} = \frac{V_{emax}}{R} \sin(\omega t)$$

$$V_{D1} = 0$$

- Pour $\pi < \omega t < 2\pi : V_e(t) < 0 \Rightarrow D_1$ et D_4 bloquées ; D_2 et D_3 passantes :

$$V_{ch} = -V_e(t) = -V_{emax} \sin(\omega t)$$

$$I_{ch} = -\frac{V_{ch}}{R} = -\frac{V_{emax}}{R} \sin(\omega t) \quad (I.16)$$

$$V_{D1} = V_e(t)$$

Les formes d'ondes des tensions V_{ch} , I_{ch} et V_{D1} sont illustrés par les chronogrammes de la *figure I.7*

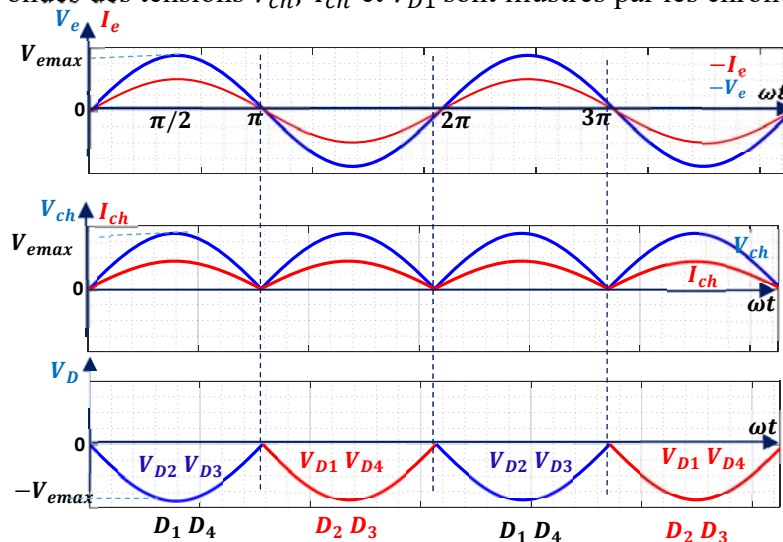


Fig.I.7 : Courbes courant et tension d'un redresseur à deux impulsions non commandé à charge ohmique

L'étude d'un montage porte sur le calcul de :

- Valeur moyenne de la tension redressée $V_{ch}(t)$: $V_{chmoy} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{max} \sin(\omega t) dt = \frac{2V_{emax}}{\pi}$
- Valeur efficace de la tension $V_{ch}(t)$: $V_{cheff} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}}$
- Valeur moyenne du courant : $I_{chmoy} = \frac{V_{chmoy}}{R} = \frac{V_{emax}}{\pi R}$
- Valeur efficace du courant : $I_{cheff} = \frac{V_{cheff}}{R} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}R}$
- Facteur de forme : $F = \frac{V_{cheff}}{V_{chmoy}} = \frac{V_{emax}}{2} \frac{\pi}{V_{emax}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
- Taux d'ondulation : $K = \frac{\pi}{2}$

Avec charge inductive

Le schéma de la **Figure I.8** représente le montage d'un pont redresseur à 4 diodes débitant sur une charge inductive constituée d'une inductance pure L en série avec une résistance R .

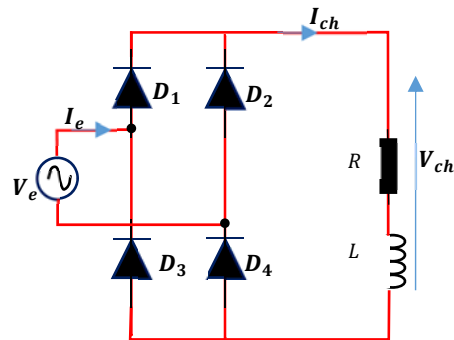


Fig I.8: Redressement double-alternance sur charge RL

Analyse théorique

A chaque instant du fonctionnement on peut écrire la relation suivante $V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt}$

Les formes d'ondes des paramètres décrivant le fonctionnement du montage avec une charge inductive sont représentées à la **figure I.9**.

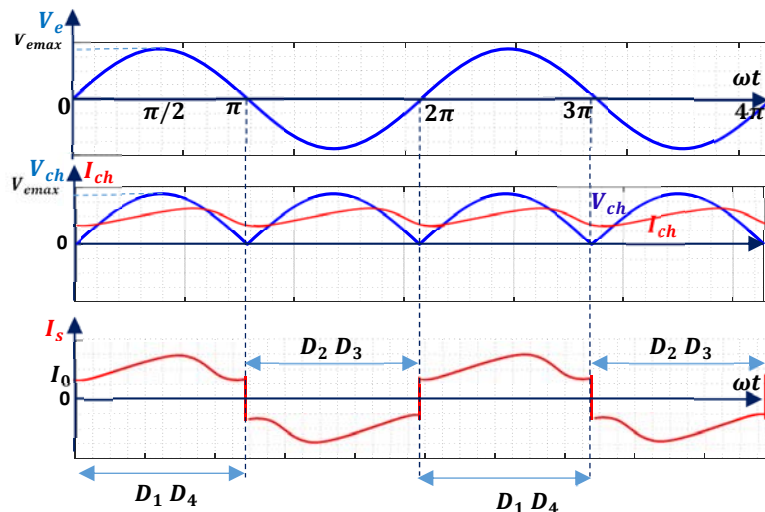


Fig.I.9: Courbes courant et tension d'un redresseur à deux impulsions non commandé à charge inductive

Etude pratique : REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE

PARTIE A : sur une charge R

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions doivent être enfichées lorsqu'elles sont hors tension, c'est-à-dire que l'alimentation en tension de l'électronique de commande ainsi que le transformateur de séparation doivent être coupés lorsque les raccords sont réalisés selon le schéma de connexions

- Réalisez le circuit électrique comme indiqué dans la **figure I.10**
- Connecter les appareils en utilisant la tension d'alimentation de **47V** et une résistance de charge de **720 Ohm**,
- Activez le transformateur-séparateur
- Pour afficher les courbes temps sur l'oscilloscope, effectuez les réglages suivants sur l'oscilloscope : CH1 : 1V/DIV, CH2 : 0.2V/DIV, **Time : 1ms/DIV**
- Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure respectives avec l'interrupteur à bascule :

Pos Commut	Grandeur de mesure	Plage de mesure
A	Tension de sortie	150V
B	Tension d'entrée	150V
C	Courant d'entrée	2.5A
D	Courant de sortie	2.5A

Après avoir terminé la connexion du circuit ci-dessus (Fig I.10), vous pouvez effectuer l'expérience comme suit :

1. Connectez l'amplificateur d'isolement pour visualiser et, à l'aide d'un oscilloscope, obtenez les formes d'onde temporelles V_e , V_{ch} , I_{ch} et V_D (deux cycles complets ou plus de la fréquence de la tension d'entrée) :
 - Tension d'entrée V_e
 - Tension de sortie V_{ch}
 - Courant de sortie I_{ch}
 - Tension aux bornes de la diode V_D
2. Analysez la courbe de la tension et du courant de sortie.
3. Comparez les résultats théoriques et de l'expérience, écrivez vos commentaires

4. Calculez la valeur moyenne et efficace de la tension et le courant de sortie et comparez le résultat avec la mesure
5. Calculez la puissance effective enregistrée avec et sans redresseur. Comparez le résultat avec la mesure

PARTIE B : Sur une charge RL

1. Répétez l'expérience (*Figure I.10*) pour une charge RL, résistance de charge $R=720\Omega$ et Inductance $L=1.2 H$
2. Tracer les courbes V_e , V_{ch} , I_{ch} et V_D .
3. Mesurez la valeur moyenne et efficace de V_{ch} , I_{ch} et comparez le résultat avec la théorie.
4. Déterminez la durée de commutation du courant et comparez le résultat avec les mesures.
5. Répétez l'expérience (*Figure I.10*) pour une résistance de charge RL et avec Diode à Roue Libre (DRL) $R=720\Omega$ et Inductance $L=1.2 H$
6. Tracer les courbes V_e , V_{ch} , I_{ch} et V_D .
7. Calculez la valeur moyenne et efficace de V_{ch} , I_{ch} et comparez le résultat avec la mesure. (*Préciser AC, DC, AC+DC les positions choisis pour les appareils de mesure*)
8. Mesurez la puissance effective (charge résistive) et comparez le résultat avec la théorie.
9. Faire une conclusion sur le TP.

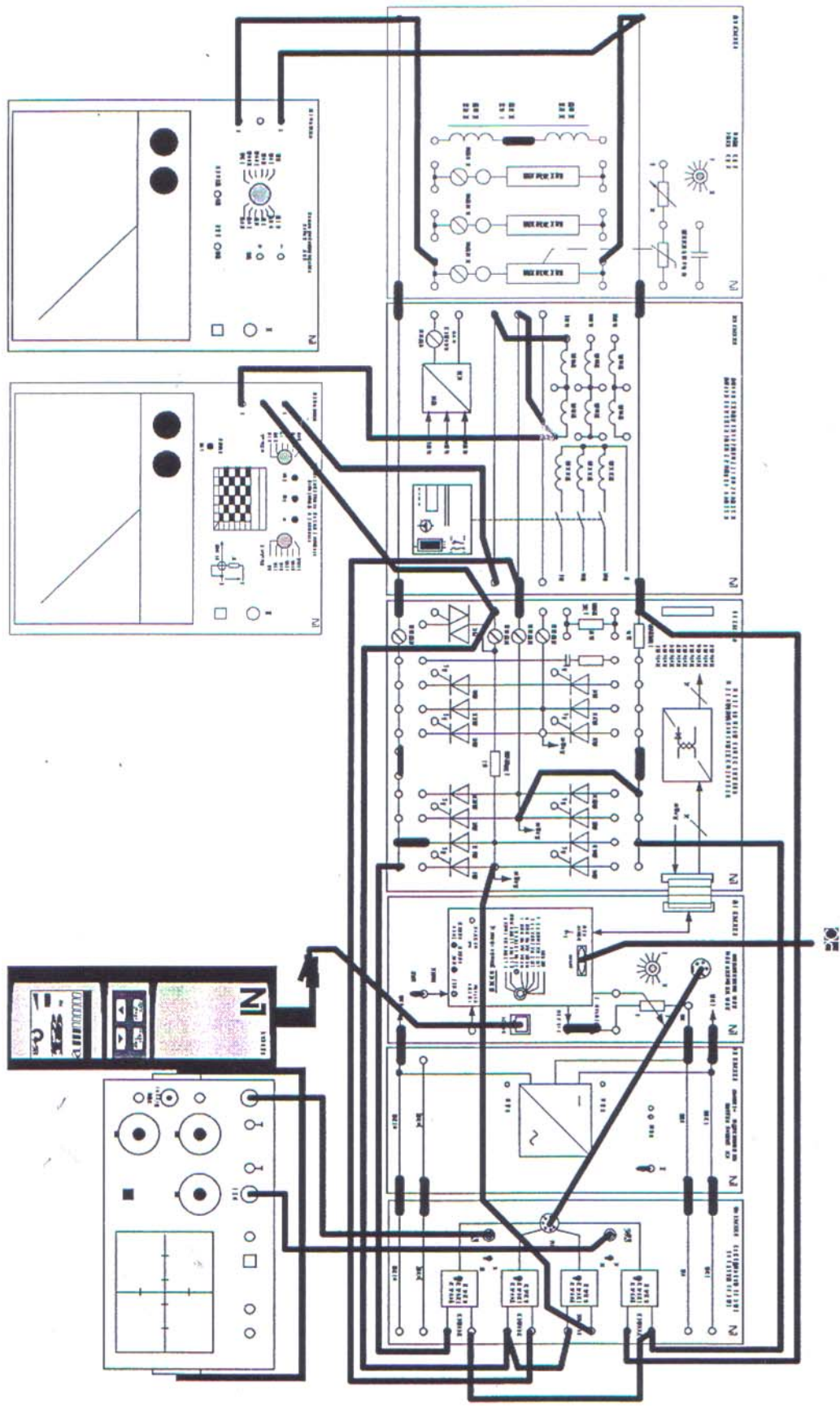


Fig I.10 : Schéma de connexions d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé

Etude pratique : REDRESSEMENT MONOPHASE DOUBLE ALTERNANCE (PONT DE GRAETZ)

- Réalisez le circuit suivant le présent schéma des connexions (Figure I.11) et connectez les appareils.
 - Mettez le circuit sur une charge ohmique de 270Ω avec une tension $47V$ et suivante $R=270 \Omega$, $L=1.2 H$.
 - *Préparez un rapport qui résume vos résultats. Toutes les courbes doivent être incluses dans le rapport.*
1. Connectez l'amplificateur d'isolement pour visualiser et, à l'aide d'un oscilloscope, obtenez les formes d'onde temporelles tension d'entrée V_e , Tension de sortie V_{ch} Courant de sortie I_{ch} et la tension aux bornes de la diode V_D .
 2. Installer les équipements de mesure; un multimètre pour mesurer la tension et le courant efficace au primaire du transformateur, un multimètre pour mesurer la tension et le courant continue aux bornes de la charge.
 3. Calculez la valeur moyenne (V_{chmoy}) et efficace (V_{cheff}) de la tension et le courant de sortie et comparez le résultat avec la mesure.
 4. Calculez la puissance effective enregistrée avec et sans redresseur. Comparez le résultat avec la mesure.
 5. Expliquez pourquoi la puissance déwattée à charge résistive est nulle.
 6. Faire une conclusion sur le TP

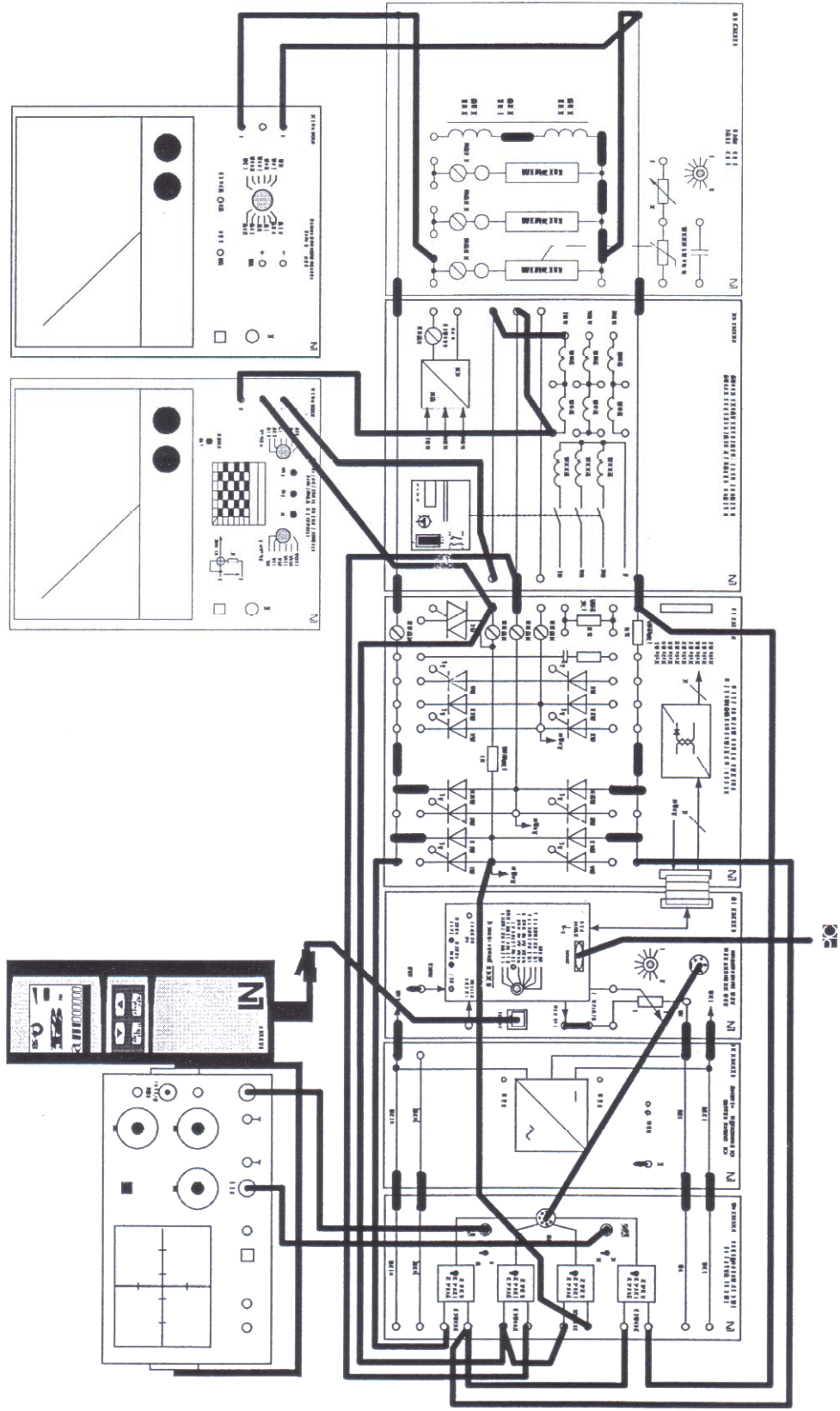


Fig I.11 : Schéma de connexions d'un redresseur double alternance non commandé (Pont de Graetz)

III. REDRESSEMENT TRIPHASE NON COMMANDE

I. REDRESSEMENT TRIPHASE NON COMMANDE SUR CHARGE RESISTIVE

Contrairement aux alimentations à faible puissance qui utilisent le plus souvent des réseaux monophasés, les alimentations de puissance utilisent généralement des réseaux triphasés.

Le montage redresseur P3 à diodes est constitué de trois diodes, connectées chacune à une phase représente la forme la plus simple de redresseur triphasé (Figure I.12).

ETUDE THEORIQUE

Analyse du fonctionnement

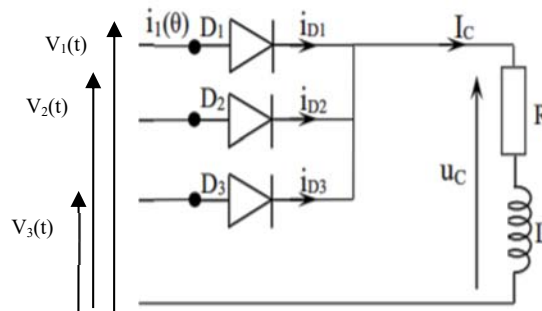


Fig I.12: Redressement triphasé mono alternance non commandé

A partir du réseau triphasé, on obtient un système triphasé équilibré de tensions (V_1, V_2, V_3), qu'on notera

$$V_1 = V_m \sin(\omega t)$$

$$V_2 = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_3 = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

Les trois diodes étant à cathode commune choisissent à tout moment la plus positive des trois tensions du générateur, une seule diode conduit à la fois, les autres sont bloquées

Les différentes phases de fonctionnement du montage sont alors décrites par le tableau suivant

Intervalle	Diodes passantes	Diode bloquées	Tension de sortie V_{ch}	Tension aux bornes de D_1
$[0; \frac{\pi}{6}]$	D_3	D_1 et D_2	V_3	$V_1 - V_3$
$[\frac{\pi}{6}; \frac{5\pi}{6}]$	D_1	D_2 et D_3	V_1	0
$[\frac{5\pi}{6}; \frac{9\pi}{6}]$	D_2	D_1 et D_3	V_2	$V_1 - V_2$
$[\frac{9\pi}{6}; \frac{13\pi}{6}]$	D_3	D_1 et D_2	V_3	$V_1 - V_3$

L'étude d'un montage redresseur porte sur :

- la recherche de la forme de la tension redressée $V_{ch}(t)$ et le courant redressé $I_{ch}(t)$: étude des semi-conducteurs en conduction et de leur durée de conduction ;
- le calcul de la valeur moyenne V_{chmoy} de $V_{ch}(t)$;
- le calcul de la valeur efficace V_{cheff} de $V_{ch}(t)$;
- le calcul de la puissance (puissance de la charge P_{ch} , puissance apparente S ;
- le calcul du Facteur de puissance f_p , facteur de forme F et le taux d'ondulation K .

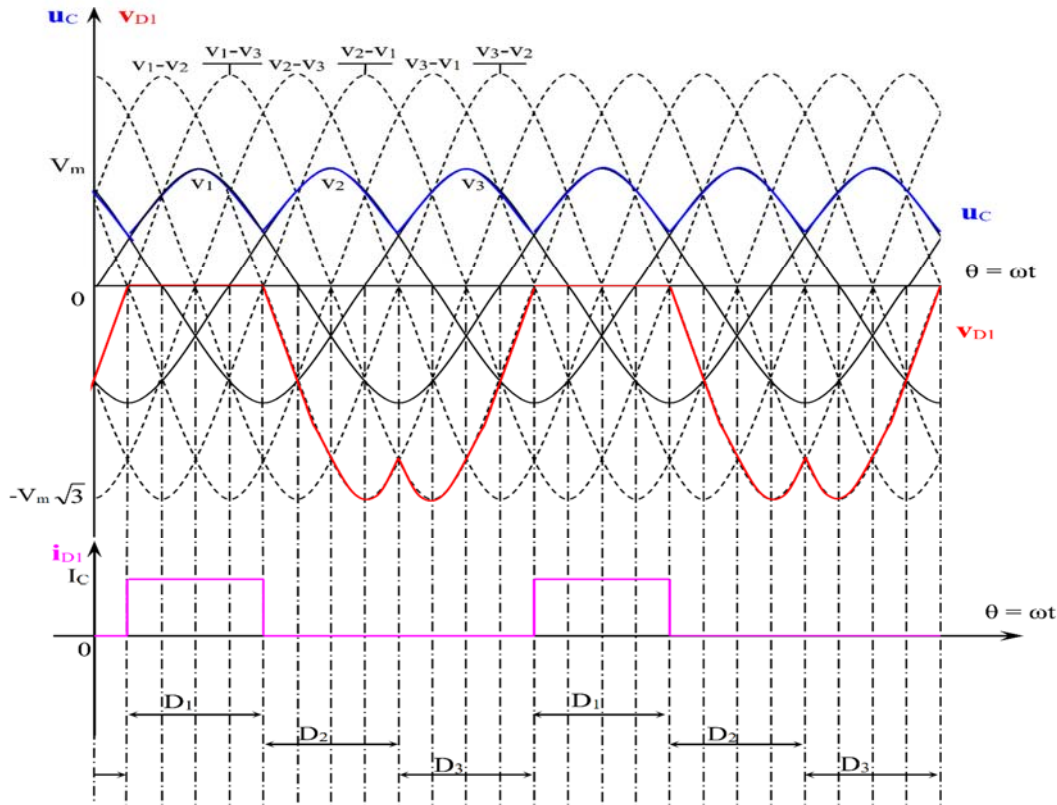


Fig.I.13: Courbes courant et tension d'un redresseur triphasé non commandé

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{ch}(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_e(t) dt$$

$$V_{chmoy} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_{max} \sin(\omega t) dt = \frac{3\sqrt{3}V_{emax}}{2\pi} \quad (I.17)$$

Valeur moyenne du courant de charge pour charge ohmique :

$$I_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_{ch}(t)}{R} dt$$

$$I_{chmoy} = \frac{1}{R} \frac{1}{T} \int_0^T V_{ch}(t) dt = \frac{V_{chmoy}}{R} = \frac{3\sqrt{3}V_{emax}}{2\pi R} \quad (I.18)$$

Valeur efficace de la tension aux bornes de la charge :

$$(V_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (V_e(t))^2 dt$$

$$V_{cheff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{emax} \sin(\omega t))^2 dt} = \frac{V_{emax}}{2}$$

Valeur efficace du courant de charge :

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (I_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{ch}(t)/R)^2 dt$$

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{1}{T} \int_0^T (V_{ch}(t))^2 dt \right] = \frac{(V_{cheff})^2}{R^2}$$

$$I_{cheff} = \frac{V_{cheff}}{R} = \frac{V_{emax}}{2R}$$

Facteur de forme : Plus F tend vers 1, plus la tension redressée $V_{ch}(t)$ peut être considérée comme continue

$$F = \frac{V_{cheff}}{V_{chmoy}} = \frac{V_{emax}}{2} \frac{\pi}{V_{emax}} = \frac{\pi}{2}$$

Facteur d'ondulation : Plus t tend vers 0, plus la tension redressée $V_{ch}(t)$ peut être considérée comme continue.

$$K = \frac{V_{chMAX} - V_{chMin}}{V_{chmoy}} = \frac{V_{emax} - 0}{\frac{V_{emax}}{\pi}} = \pi$$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{DMAX} = \text{Max}|V_D| = \text{Max}|V_1 - V_2| = \sqrt{3}V_{emax}$

Puissance de la charge : $P_{ch} = V_{chmoy} \cdot I_{ch} = \frac{2V_{emax}}{\pi} \cdot I_{ch}$

Puissance apparente : $S = V_{eff} \cdot I_{eff} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}} \frac{I_{ch}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{emax}}{2} I_{ch}$

Facteur de puissance : $f_p = \frac{P_{ch}}{S} = \frac{1}{\pi}$

ETUDE PRATIQUE : **R**EDRESSEMENT TRIPHASE NON COMMANDE CHARGE RESISTIVE

Objectifs

- Apprendre à reconnaître l'effet de redressement d'un circuit triphasé non commande.
- Reconnaître à extrême lissage a charge Résistive-Inductive (*RL*).
- Reconnaître que le courant de source est déformé de manière rectangulaire en cas de fort lissage
- Reconnaître qu'il n'y a pas de puissance déwattée d'oscillation de base.

Taches

1. Représentation de l'effet de redressement
 2. Calcul de la valeur moyenne de tension de charge.
 3. Détermination des composantes de puissance
 - Puissance apparente
 - Puissance effective
 - Puissance déwattée
- *Après avoir terminé la connexion du circuit ci-dessus, (Figure I.14) vous pouvez effectuer l'expérience comme suit :*
1. Réalisez le circuit suivant le présent schéma des connexions (Figure I.14) et connectez les appareils. Mettez le circuit sur une charge ohmique de 270Ω avec une tension $94V$ et suivante $R=270 \Omega$, $L=1.2 H$
 2. *Préparez un rapport qui résume vos résultats. Toutes les courbes doivent être incluses dans le rapport.*
 3. Connectez l'amplificateur d'isolement pour visualiser et, à l'aide d'un oscilloscope, obtenez les formes d'onde temporelles (*deux cycles complets ou plus de la fréquence de la tension d'entrée*) de V_s , V_e , I_{ch} et V_{ch} .
 8. Installer les équipements de mesure; un multimètre pour mesurer la tension et le courant efficace au primaire du transformateur, un multimètre pour mesurer la tension et le courant continu aux bornes de la charge.
 9. Calculez la valeur moyenne (V_{chmoy}) et efficace (V_{cheff}) de la tension et le courant de sortie et comparez le résultat avec la mesure.
 10. Calculez la puissance effective enregistrée avec et sans redresseur. Comparez le résultat avec la mesure.

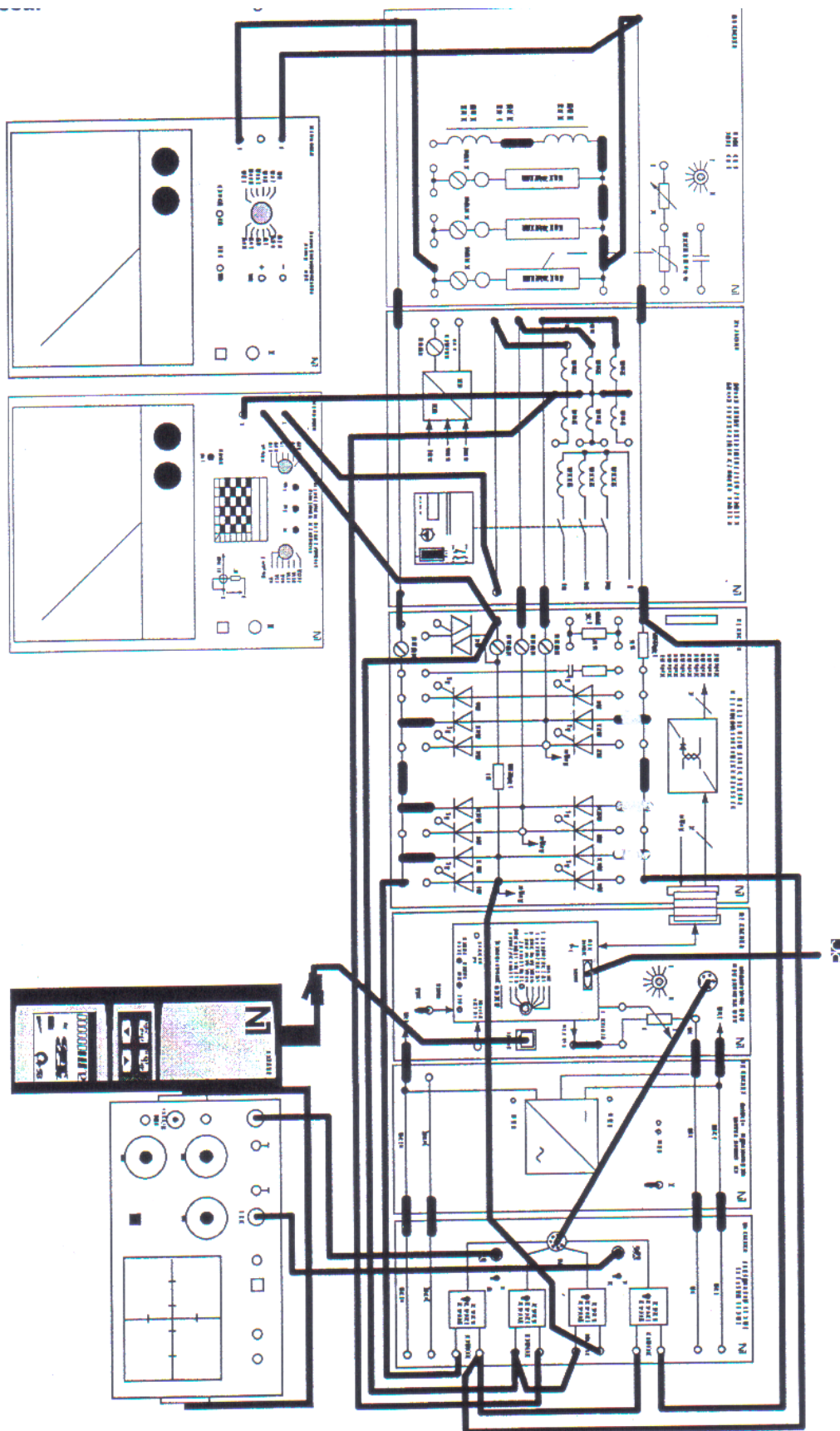


Fig I.14 : Schéma de connexions pour un redresseur triphasé mono- alternance non commandé

TP2 :

REDRESSEURS COMMANDES : MONOPHASES ET TRIPHASES

I. REDRESSEMENT MONOPHASE COMMANDE

Le redressement commandé est la conversion d'une tension alternative en une tension continue de valeur moyenne réglable. Les montages sont semblables à au montage redresseur non commandé avec une partie des diodes seront remplacées par un ensemble équivalent de thyristors. Le redressement commandé est utilisé pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu

Objectifs

Dans cette expérience, les étudiants effectueront des tests expérimentaux sur un circuit de base de convertisseur AC-DC commandé (redresseur à *Thyristor*). Et après avoir terminé ce travail de TP, l'étudiant sera capable de :

- Se familiariser avec le fonctionnement d'un redresseur à Thyristor monophasé avec des charges résistives et inductives
- Déterminer les caractéristiques de performance du redresseur commandé avec ses différentes topologies.
- Connaître les effets d'une diode de roue libre sur les performances du redresseur.
- Tracer et analyser les variations temporelles de la tension et du courant continu.
- Déterminer le facteur de forme et le taux d'ondulation.

Analyse du fonctionnement

Ce type de redresseur est réalisé en remplaçant la diode du redresseur simple alternance non commandé par un thyristor comme le montre le schéma ci-contre (Figure II.1). L'entrée est une tension alternative monophasée. L'anode du thyristor est connectée avec l'extrémité de la source de tension monophasée. Sa cathode est reliée à la charge. Le thyristor ne conduit que si sa tension V_{Th} à ses bornes est positive et si la gâchette a reçu une impulsion d'amorçage i_G à cet instant l'impulsion correspond un angle d'amorçage α .

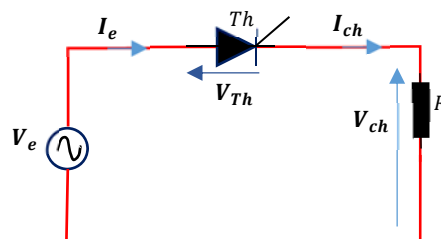


Fig II.1: Redressement commandé mono-alternance sur charge résistive

On amorce le thyristor à $\omega t = \theta = \alpha$: donc conduction du thyristor continue jusqu'à π où le courant s'annule (charge résistive).

L'amorçage suivant s'effectue à $2\pi + \alpha$.

- Pour $\alpha < \theta < \pi$: Th conduit

$$V_{ch} = V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t) \quad I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R} = \frac{V_{emax}}{R} \sin(\omega t) \quad V_{TH} = 0$$

V_{ch} et I_{ch} ont la même forme.

- Pour $\pi < \theta < 2\pi + \alpha$: Th bloqué car à $\theta = \pi$ le courant s'annule donc : $I_{ch} = V_{ch} = 0$ et $V_{Th} = V_e(t)$

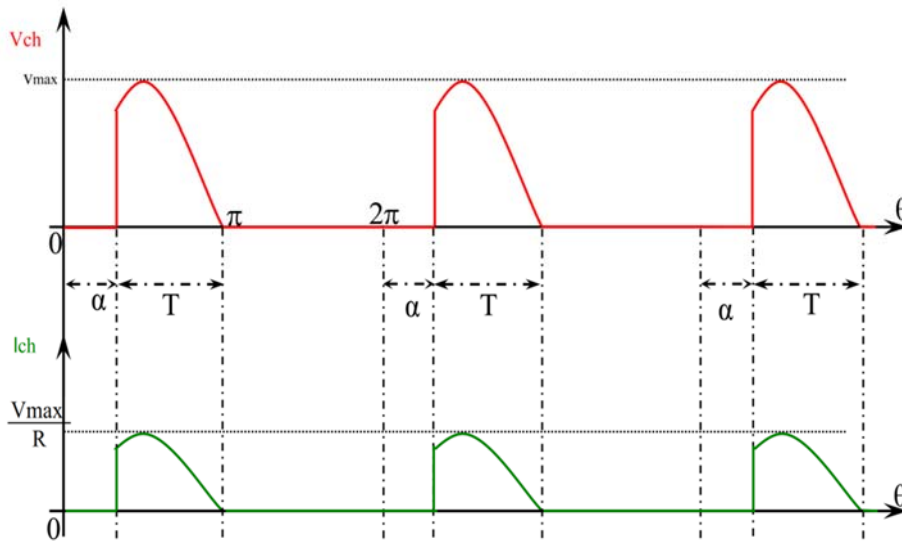


Fig II.2 : Courbes courant et tension de charge d'un redresseur commandé à charge résistive

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_e(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_{emax} \sin(\omega t) dt$$

$$V_{chmoy} = \frac{V_{emax}}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) \quad (II.1)$$

Valeur moyenne du courant de charge :

$$I_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} I_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{V_{ch}(t)}{R} dt$$

$$I_{chmoy} = \frac{1}{R} \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_{ch}(t) dt = \frac{V_{chmoy}}{R} = \frac{V_{emax}(1 + \cos(\alpha))}{2\pi R} \quad (II.1)$$

Valeur efficace de la tension aux bornes de la charge :

$$(V_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_e(t))^2 dt = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{emax} \sin(\omega t))^2 dt}$$

$$V_{cheff} = \frac{V_{emax}}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (II.2)$$

Valeur efficace du courant de charge :

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (I_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t)/R)^2 dt$$

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t))^2 dt \right] = \frac{(V_{cheff})^2}{R^2}$$

$$I_{cheff} = \frac{V_{cheff}}{R} = \frac{V_{emax}}{2R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (II.3)$$

Facteur de forme : Plus F tend vers 1, plus la tension redressée $V_{ch}(t)$ peut être considérée comme continue

$$F = \frac{V_{cheff}}{V_{chmoy}} = \frac{\pi}{(1+\cos(\alpha))} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (II.4)$$

I.1 REDRESSEMENT COMMANDE MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE SUR CHARGE INDUCTIVE

La charge résistive est remplacée par une charge à caractère inductif composée d'une résistance R en série avec d'une inductance L **figure (II.3)**. Ce montage permet de lisser le courant et pour d'éviter l'apparition de tensions négatives aux bornes de la charge,

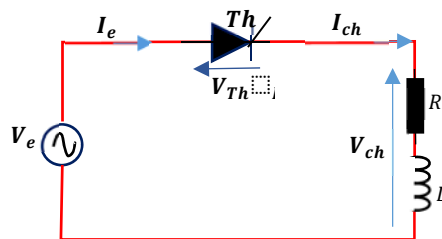


Fig II.3: Redressement commandé mono-alternance sur charge inductive

Analyse du fonctionnement

La **Figure II.4** montre les formes d'onde de tension d'entrée, la tension de sortie, le courant de charge. On amorce le thyristor à $wt = \theta = \alpha$, compte tenu de la nature inductive de la charge la charge cesse de conduire lorsque le courant qui la traverse s'annule le courant i s'annule à l'angle θe , , une fois que toute l'énergie stockée dans l'inductance est retournée à la source de tension. Donc sur une période de 2π , la conduction est de α à θe

- Pour $\alpha < \theta < \theta e$: Th conduit

$$V_{ch} = V_e(t) = V_{emax} \sin(\omega t)$$

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_{emax} \sin(\omega t) \quad (II.5)$$

Equation différentielle de 1^{er} ordre avec second membre sinusoïdale. Le courant i_{ch} est, la somme de deux courants i_f courant permanent ou forcé et i_l courant libre ou transitoire donc

$$i_{ch} = i_f + i_l$$

On a donc :

$$i_{ch}(\theta) = \frac{V_{emax}}{Z} \sin(\theta - \varphi) + K e^{\left(-\frac{\theta}{\tau}\right)}$$

Avec $Z = \sqrt{(R)^2 + (L\omega)^2}$, $\tau = \frac{L\omega}{R}$, $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{L\omega}{R}\right)$ et $\theta = \omega t$

K est une constante que l'on détermine à partir de conditions initiales

à $\theta = \alpha \Rightarrow i_{ch}(0) = 0$ donc $k = -\frac{V_{emax}}{Z} \sin(\varphi)$

$$i_{ch}(\theta) = \frac{V_{emax}}{Z} [\sin(\theta - \varphi) + \sin(\varphi) e^{\left(-\frac{\theta - \alpha}{\tau}\right)}] \quad (II.6)$$

L'extinction du courant à l'instant $\omega t = \theta_e$

$$\sin(\theta_e - \varphi) + \sin(\varphi) e^{\left(-\frac{\theta_e - \alpha}{\tau}\right)} = 0$$

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R} = \frac{V_{emax}}{R} \sin(\omega t) \quad V_{TH} = 0$$

V_{ch} et I_{ch} ont la même forme.

- Pour $\theta_e < \theta < 2\pi + \alpha$: Th bloqué car à $\theta = \pi$ le courant s'annule donc : $I_{ch} = V_{ch} = 0$ et $V_{Th} = V_e(t)$

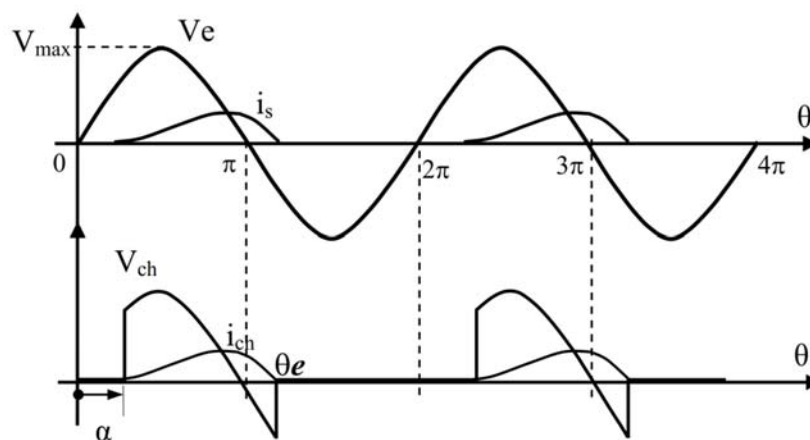


Fig.II.4: Courbes courant et tension d'un redresseur commandé à charge inductive

Etude pratique :

REDRESSEMENT COMMANDE MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE

Objectifs :

- Etude du fonctionnement du redresseur simple alternance commandé.
- Analyser l'évolution des courants et tensions des semi-conducteurs (Thyristor) dans les deux cas de charges résistive et inductive.
- Rechercher la courbe caractéristique de commande.

PARTIE A : sur une charge R

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions doivent être enfichées lorsqu'elles sont hors tension, c'est-à-dire que l'alimentation en tension de l'électronique de commande ainsi que le transformateur de séparation doivent être coupés lorsque les raccords sont réalisés selon le schéma de connexions

- Réalisez le circuit électrique comme indiqué dans la **figure II.5**
- Connecter les appareilles en utilisant la tension d'alimentation de **47V** et une résistance de charge de **720 Ohm**,
- Activez le transformateur-séparateur
- Pour afficher les courbes temps sur l'oscilloscope, effectuez les réglages suivants sur l'oscilloscope : CH1 : 1V/DIV, CH2 : 0.2V/DIV, **Time : 1ms/DIV**
- Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure respectives avec l'interrupteur à bascule :

Pos Commut	Grandeur de mesure	Plage de mesure
A	Tension de sortie	150V
B	Tension d'entrée	150V
C	Courant d'entrée	2.5A
D	Courant de sortie	2.5A

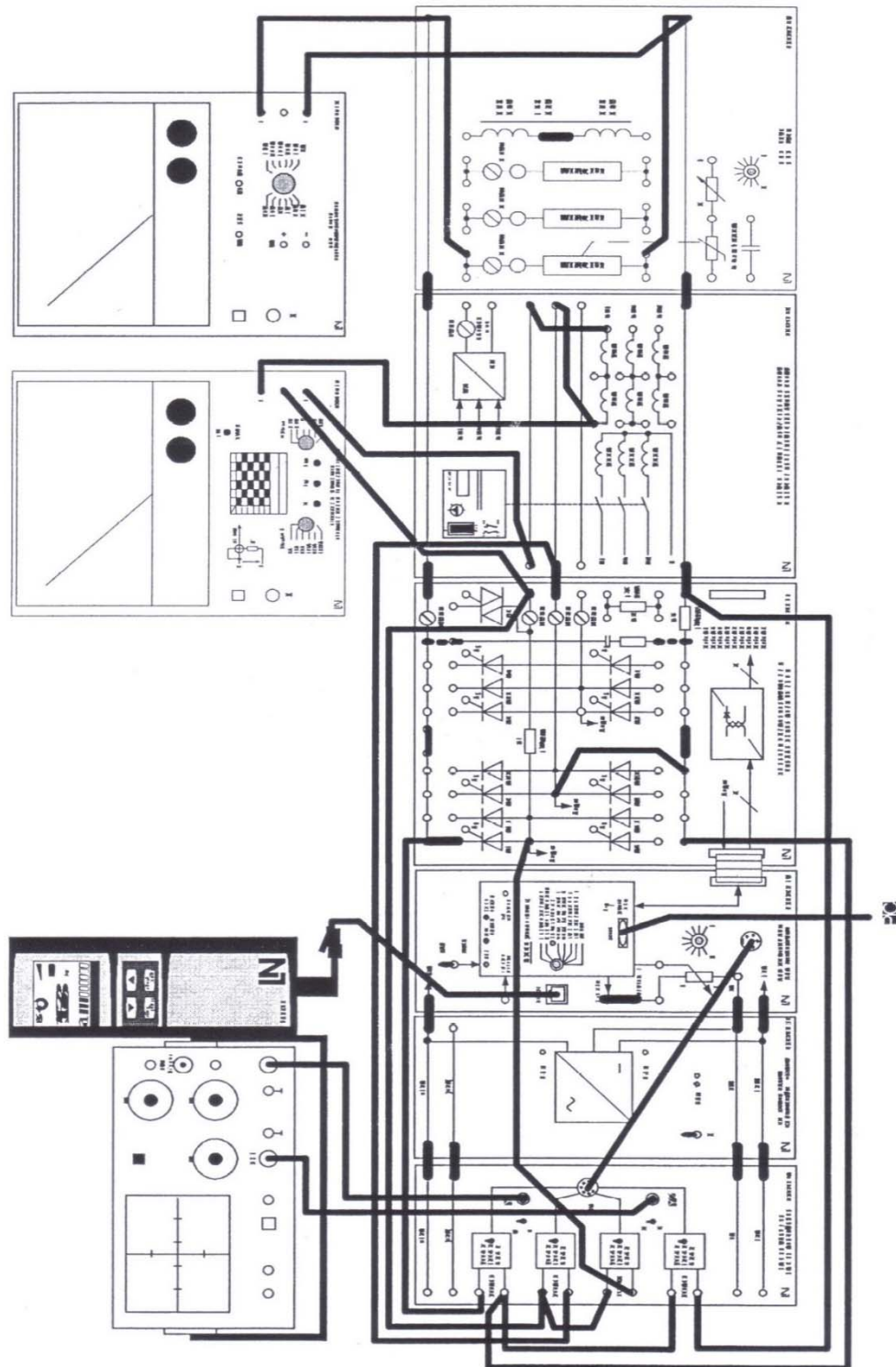
Après avoir terminé la connexion du circuit ci-dessus(FigII.5), vous pouvez effectuer l'expérience comme suit :

1. Connectez l'amplificateur d'isolement pour visualiser et, à l'aide d'un oscilloscope, obtenez les formes d'onde temporelles V_e , V_{ch} , I_{ch} et V_{Th} (deux cycles complets ou plus de la fréquence de la tension d'entrée) :
 - Tension d'entrée V_e

- Tension de sortie V_{ch}
 - Courant de sortie I_{ch}
 - Tension aux bornes de Th , V_{th}
2. Visualiser sur l'oscilloscope et tracer l'évolution temporelle de V_e , V_{ch} , V_{Th} et I_{ch} pour un angle de commande $\alpha = 45^\circ$.
 3. Relever les variations de V_{chmoy} , V_{cheff} , I_{chmoy} , I_{cheff} , P_{ch} , Q_{ch} en fonction angle d'amorçage α . (Préciser AC, DC, AC+DC les positions choisis pour les appareils de mesure)
 4. Calcul de la valeur moyenne de tension continue selon un angle de commande et comparaison du résultat avec la mesure.
 5. Tracer la tension de charge V_{chmoy} on fonction de angle de commande α , interpréter cette courbe.
 6. Analysez la courbe de la tension et du courant de sortie.
 7. Comparez les résultats théoriques et de l'expérience, écrivez vos commentaires
 8. Calculez la valeur moyenne et efficace de la tension et le courant de sortie et comparez le résultat avec la mesure
 9. Calculez la puissance effective enregistrée avec et sans redresseur. Comparez le résultat avec la mesure

PARTIE B : Sur une charge RL

1. Répétez l'expérience (Figure II.5) pour une charge RL, résistance de charge $R=720 \Omega$ et inductance $L=1.2 H$



FigII.5 : Schéma de connexions pour un redresseur monophasé simple alternance commandé charge R

REDRESSEMENT MONOPHASE DOUBLE ALTERNANCE COMMANDE

Le montage (Figure II.6) sans diode de roue libre fonctionne en redresseur de courant, ou en *onduleur assisté* sous certaines conditions. On suppose que le courant débité est strictement constant (*charge fortement inductive*).

- A l'instant $\theta = \alpha$ les thyristors T_1 et T_1' sont rendus passants, il vient $U_{ch} = V_m \sin(\theta)$

Pour $\pi < \theta < \pi + \alpha$ ces thyristors continuent à être passants car le courant est ininterrompu.

On a donc toujours

$$U_{ch} = V_e = V_m \sin(\theta) \quad (\text{II.4})$$

$$V_{T1}(\theta) = 0 \text{ et } i(\theta) = I_c.$$

- A l'instant $\theta = \pi + \alpha$ les thyristors T_2 et T_2' sont rendus passants et entraînent, du même, coup, le blocage de T_1 et T_1' . On alors

$$U_{ch} = -V_e = -V_m \sin(\theta) \quad (\text{II.5})$$

$$V_{T1}(\theta) = V_{e\max} \sin(\theta) \text{ et } i(\theta) = -I_c$$

La valeur moyenne de la tension de charge est :

$$V_{ch\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^T V_{ch}(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_e(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_{e\max} \sin(\omega t) dt$$

$$V_{ch\text{moy}} = \frac{2V_{e\max}}{\pi} (\cos(\alpha)) \quad (\text{II.6})$$

Le courant moyen à la sortie du redresseur I_c est toujours positif, donc si $V_{cmoy} < 0$ on obtient une puissance $V_{cmoy} I_c < 0$, ce qui veut dire que la puissance passe de la machine à la source : Inversion de l'opération.

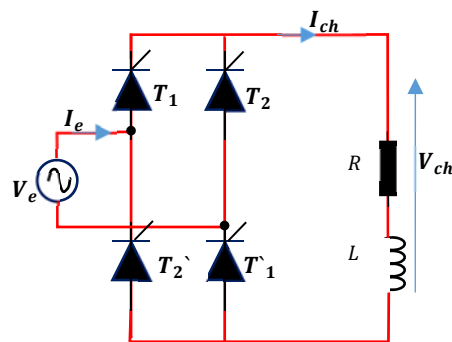


Fig II.6 : Redressement monophasé double alternance commandé charge R, L

Donc pour $\psi > p/2$, la tension de sortie V_{cmoy} devient négative. On appelle le convertisseur dans ce cas par « **Onduleur non autonome** » car la fréquence de sortie de l'onduleur est fixée par le réseau. Et pour $\psi < p/2$, la tension de sortie V_{cmoy} devient positive. On appelle le convertisseur dans ce cas par « **Redresseur** »

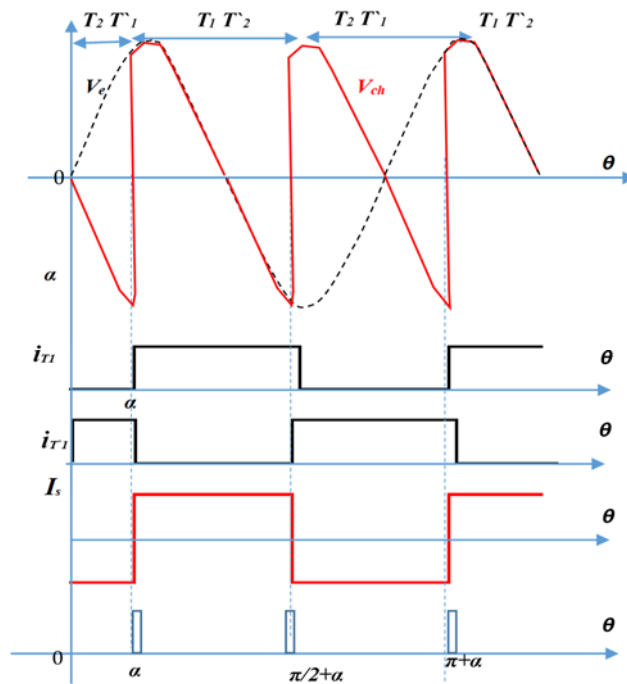


Fig II.7 : *Forme d'ondes des différentes grandeurs d'un pont tous thyristors*

ETUDE PRATIQUE: REDRESSEMENT COMMANDE MONOPHASE DOUBLE ALTERNANCES

- Réaliser le montage de la **figure II.6**
- Pour les valeurs suivantes de la résistance et de l'inductance :
 - $R = 720 \Omega$, $L = 0.3 \text{ H}$, $\alpha = 45^\circ$ et 135°
 - $R = 720 \Omega$, $L = 1.2 \text{ H}$, $\alpha = 45^\circ$ et 135°
- 1. Visualiser sur l'oscilloscope et tracer l'évolution temporelle de u_{ch} , et i_{ch} , V_{Th1} pour un angle de commande $\alpha = 45^\circ$ et 135° .
- 2. A l'aide du schéma électrique et des évolutions de courant et de tension, décrire le mode de fonctionnement du circuit.
- 3. Exprimer la valeur moyenne de la tension de charge en fonction de V_{emax} et α .
Calculer U_{chmoy} , pour les deux valeurs de α et les comparées avec les valeurs mesurées.
- 4. Tracer point par point les courbe $U_{cmoy} = f(\alpha)$, interpréter cette courbe.
- 5. Conclure

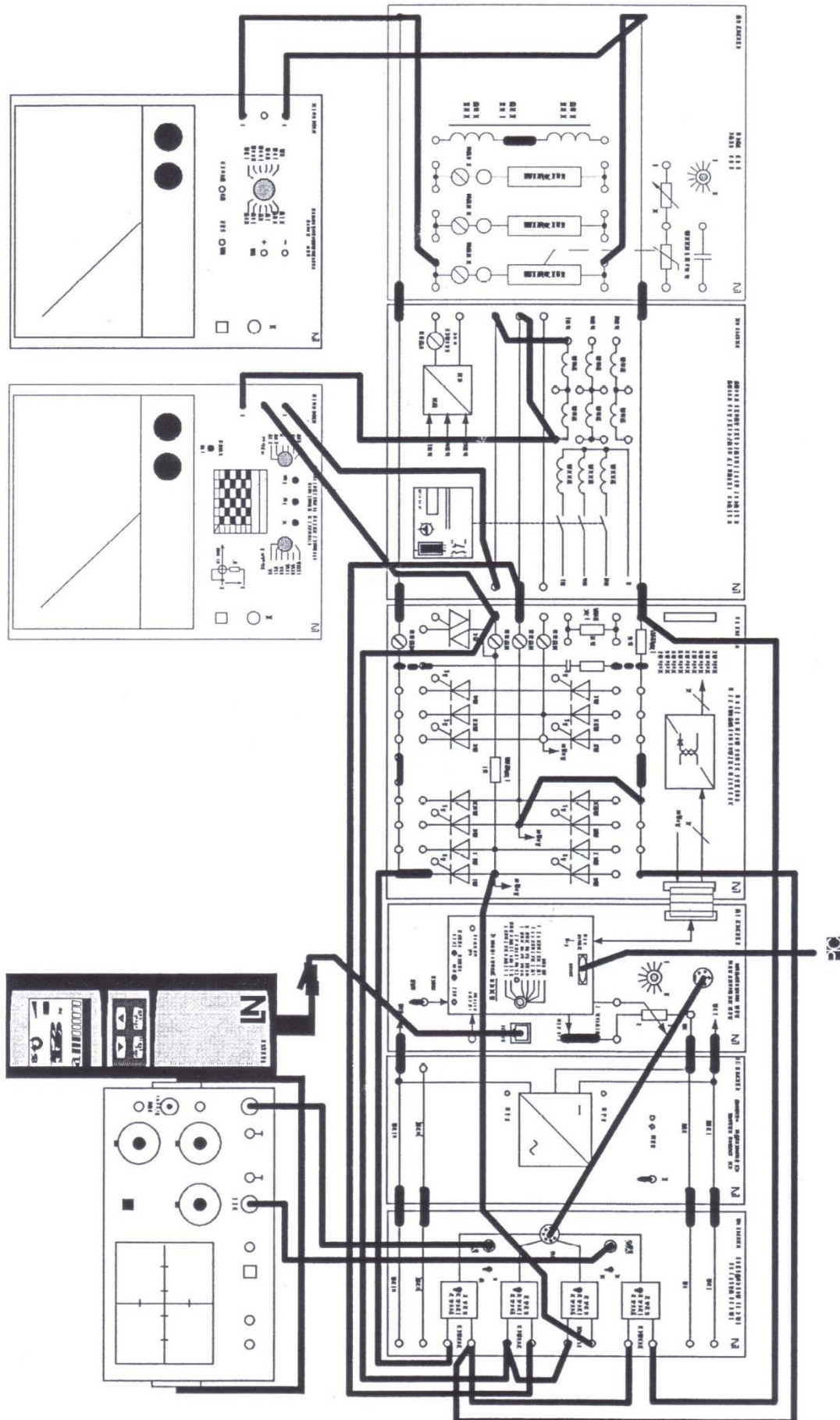


Figure II.5 : Redressement monophasé simple alternance commandé charge R.L

TP3 :

HACHEURS (SERIE OU ABAISSEUR DE TENSION)

Introduction

Le hacheur est un convertisseur *continu-continu* statique utilisant essentiellement des interrupteurs électroniques unidirectionnels permettant l'ouverture ou la fermeture d'un circuit électrique de puissance. Avec les convertisseurs de courant continu à modulation d'impulsion en largeur, il est possible de convertir des tensions continues constantes en tensions continues variables. Si la tension ne doit être réglée que dans une plage entre zéro Volt et une valeur maximale et si une inversion de courant n'est ni demandée, ni possible, l'emploi d'un convertisseur à un quadrant (circuit simple à transistor IGBT avec une diode antiparallèle) suffit.

I. Buts des essais :

1. Apprendre à connaître le principe de fonctionnement du convertisseur de courant continu en mode à un quadrant à différentes charges,
2. Reconnaître que la valeur moyenne de tension peut être réglée en continue selon le rapport cyclique α ;
3. Visualiser et analyser les courbes de tension et de courant ;
4. Apprendre à connaître les propriétés et le fonctionnement d'un hacheur série;
5. Comprendre la relation entre l'ondulation du courant Δi de sortie et le rapport cyclique α , la fréquence de commutation et l'inductance;

ETUDE THEORIQUE

Etude d'un hacheur série charge inductive

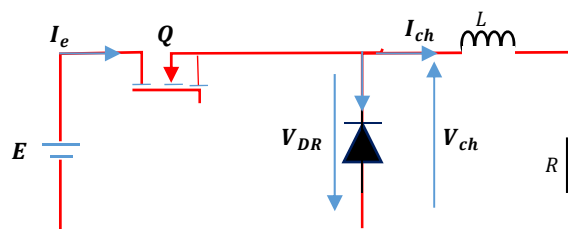


Fig III.1 : Schéma d'un Hacheur série charge R-L

La charge inductive (Figure III.1) accumule une énergie électromagnétique $W = L.i^2/2$ si Q est, passant. Il serait dangereux de libérer brutalement cette énergie par l'ouverture de Q , il en résulterait

une surtension $e = -d\phi/dt$ qui provoquerait des graves dommages. On évite cet inconvénient en utilisant une diode de roue libre (DRL) qui assure le passage du courant si Q est ouvert.

Le fonctionnement est alors continu, le courant évolue entre une limite inférieure I_{MIN} et une limite supérieure I_{MAX}

Analyse de fonctionnement

Nous pouvons décomposer cette analyse en deux parties distinctes :

■ 1^{er} cas : $0 < t < \alpha T$ (Q fermé, D ouverte)

$$\text{On a; } V_{RL} = -E, V_{Ch} = E \text{ et } I_e = I_{ch}, I_{Dr} = 0$$

Déterminons le courant $i(t)$: on a

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = E \text{ avec } i(0) = I_{MIN} \text{ et } i(\alpha T) = I_{MAX}$$

$$i_{ch}(t) = E/R + (I_{MIN} - E/R)e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \text{ avec } \tau = L/R \quad (\text{III.1})$$

Calcul de I_{MAX}

a' $t = \alpha T$ On a:

$$i(\alpha T) = I_{MAX} = E/R + (I_{MIN} - E/R)e^{-\left(\frac{\alpha T}{\tau}\right)} \Rightarrow I_{MAX} = I_{MIN} e^{-\left(\frac{\alpha T}{\tau}\right)} + E/R + (1 - e^{-\left(\frac{\alpha T}{\tau}\right)}) \quad (\text{III.2})$$

■ 2^{eme} cas : $\alpha T < t < T$ (Q ouvert, D_{RL} fermée)

$$\text{On a; } V_{RL} = 0, V_{Ch} = 0$$

$$I_e = 0, I_{Dr} = I_{ch}$$

Déterminons le courant $i(t)$: on a

$$0 = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} \text{ avec } i(T) = I_{MIN} \text{ et } i(\alpha T) = I_{MAX}$$

$$i_{ch}(t) = I_{MAX} e^{-\left(\frac{t-\alpha T}{\tau}\right)} \quad (\text{III.3})$$

➤ Calcul de I_{MAX}

$$a' t = T \text{ On a: } i(T) = I_{MIN} = I_{MAX} e^{-\left(\frac{T-\alpha T}{\tau}\right)} \Rightarrow I_{MIN} = I_{MAX} e^{-\frac{T}{\tau}(1-\alpha)} \quad \text{III.4}$$

Relation entre les tensions d'entrée et de sortie

$$\text{On a: } V_{ch}(t) = Ri_{ch}(t) + L \frac{di_{ch}}{dt} \Rightarrow V_{ch}(t)d(t) = Ri_{ch}(t)d(t) + L di_{ch}(t)$$

$$\Rightarrow \int_0^T V_{ch}(t)d(t) = \int_0^T Ri_{ch}(t)d(t) + \int_0^T L di_{ch}(t)$$

En régime établi, la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle

$$\text{Donc } V_{ch} = \int_0^{\alpha T} V_{ch}(t)d(t) = 1/T \int_0^{\alpha T} E d(t) = E \alpha T/T = \alpha E$$

$$V_{ch} = \alpha E \quad (\text{III.5})$$

$$I_{ch} = \alpha E/R \quad (\text{III.6})$$

Le hacheur série est équivalent à un transformateur non réversible à courant continu de rapport de transformation α avec $\alpha \leq 1$.

Ondulation du courant

Il est important pour un hacheur d'apprécier l'importance de l'ondulation du courant.

On considère l'inductance L très élevée donc $\tau \gg T$ donc les morceaux d'exponentielle sont des segments de droites ce qui permet un calcul simplifié des courants I_{MAX} et I_{MIN} (car $e^\varepsilon = 1 + \varepsilon$ si $\varepsilon \gg 1$)

Il est alors facile de calculer l'ondulation ΔI crête à crête:

$$\Delta I = I_{MAX} - I_{MIN} = \frac{\alpha E}{R} \left(1 + \frac{T}{\tau} (1 - \alpha)\right) - \frac{\alpha E}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta I = \frac{\alpha E T}{R \tau} (1 - \alpha) = \frac{T E}{L} \alpha (1 - \alpha) \quad (III.8)$$

Calcul de ΔI_{MAX} :

$$\Delta I = \frac{T E}{L} \alpha (1 - \alpha) \Rightarrow \Delta I' = \frac{T E}{L} (1 - 2\alpha) = 0$$

Donc ΔI est maximum pour $\alpha = 0.5 \Rightarrow \Delta I_{MAX} = \frac{T E}{4L} = \frac{E}{4Lf}$ (III.9)

Ainsi, pour réduire l'ondulation du courant doit-on agir sur les paramètres suivants :

- Augmentation de la fréquence de hachage f .
- Augmentation de la constante de temps τ du récepteur.
- Réduction de la durée relative des intervalles de coupure

En fin, dans le cas particulier où l'inductance est infinie on a $I_{Ch} = I_{MIN} = I_{MAX}$

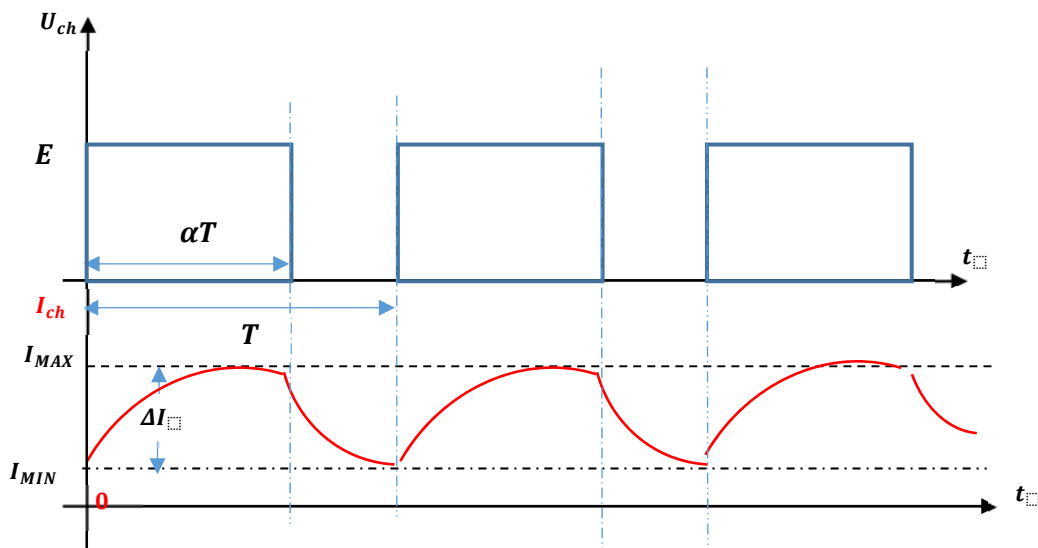


Fig III.2 : Forme d'ondes des principales grandeurs d'un Hacheur série pour une charge R-L

ETUDE PRATIQUE : *HACHEURS SERIE*

PREPARATION THEORIQUE:

- Dans les deux cas d'une charge *RL et R,L,E*
 - Trouver l'expression de la tension de sortie moyenne V_{chmoy} en fonction du rapport cyclique α et la tension d'entrée E ;
 - Trouver l'expression du courant de sortie dans les deux modes de fonctionnement du hacheur série (pour $0 < t < \alpha T = t_{on}$ et pour $\alpha T < t < T$) ; et déduire l'expression de l'ondulation du courant de sortie Δi en fonction du rapport cyclique α , la fréquence de commutation et l'inductance L .

PREPARATION PRATIQUE:

- Réaliser le montage de l'hacheur série illustré dans la [figure.III.3](#)
- Mettez le convertisseur à un quadrant sous charge ohmique de $R = 810\Omega$ et puis RL, $L=0,3H$.
- Activez le transformateur séparateur ;
- Activez le convertisseur de courant on sélectionne le mode PWM CONTROL LF. La modulation d'impulsion en largeur fonctionne alors à la basse fréquence 112 Hz (Low Frequency).
- Sélectionner les options suivantes :
 - ✓ Le rapport cyclique (est variable 50% par exemple)
 - ✓ La fréquence de la commutation du transistor 112Hz
 - ✓ Mode à un quadrant (un seul transistor)
- Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure suivants :

Tension de sortie (A)	400 V
Courant de sortie (D)	2,5 V
Shunt 1	8,0 Ohm
Shunt 2	1,5 Ohm

Analyse des résultats:

- Affichez les signaux du montage suivants :
 - ✓ Tension de sortie V_{ch} ,
 - ✓ Courant de sortie I_{ch} ,
 - ✓ La valeur moyenne de la tension de sortie V_{chmoy} ,

- ✓ La valeur moyenne du courant de sortie I_{chmoy} .

Remarque: Pour mesurer et afficher les courbes temporelles (courant et tension) sur l'oscilloscope, effectuez les réglages suivants sur l'oscilloscope:

CH 1: 1V/DIV, CH 2: 0,2V/DIV, Time: 1ms/DIV resp. 0,2ms/DIV, Trigger HF.

- Mesurer la valeur moyenne de la tension et le courant continue (V_{chmoy} , I_{chmoy}) et comparez-les avec les résultats théoriques.

α	25%	50%	75%
V_{chmoy}			
I_{chmoy}			

- Remplir les tableaux illustrés ci-dessous et mesurer à l'aide d'un oscilloscope l'ondulation du courant Δi pour les différents paramètres suivants:

Effet du rapport cyclique α à une fréquence fixe de 112Hz

α	25%	50%	75%
Δi			

Effet de la fréquence de commutation du transistor IGBT

f	112Hz	1800Hz
Δi		

Effet de l'inductance de la charge L

L	0,3H	1,2H
Δi		

- Comparer et analyser les résultats pratiques avec ceux théoriques !

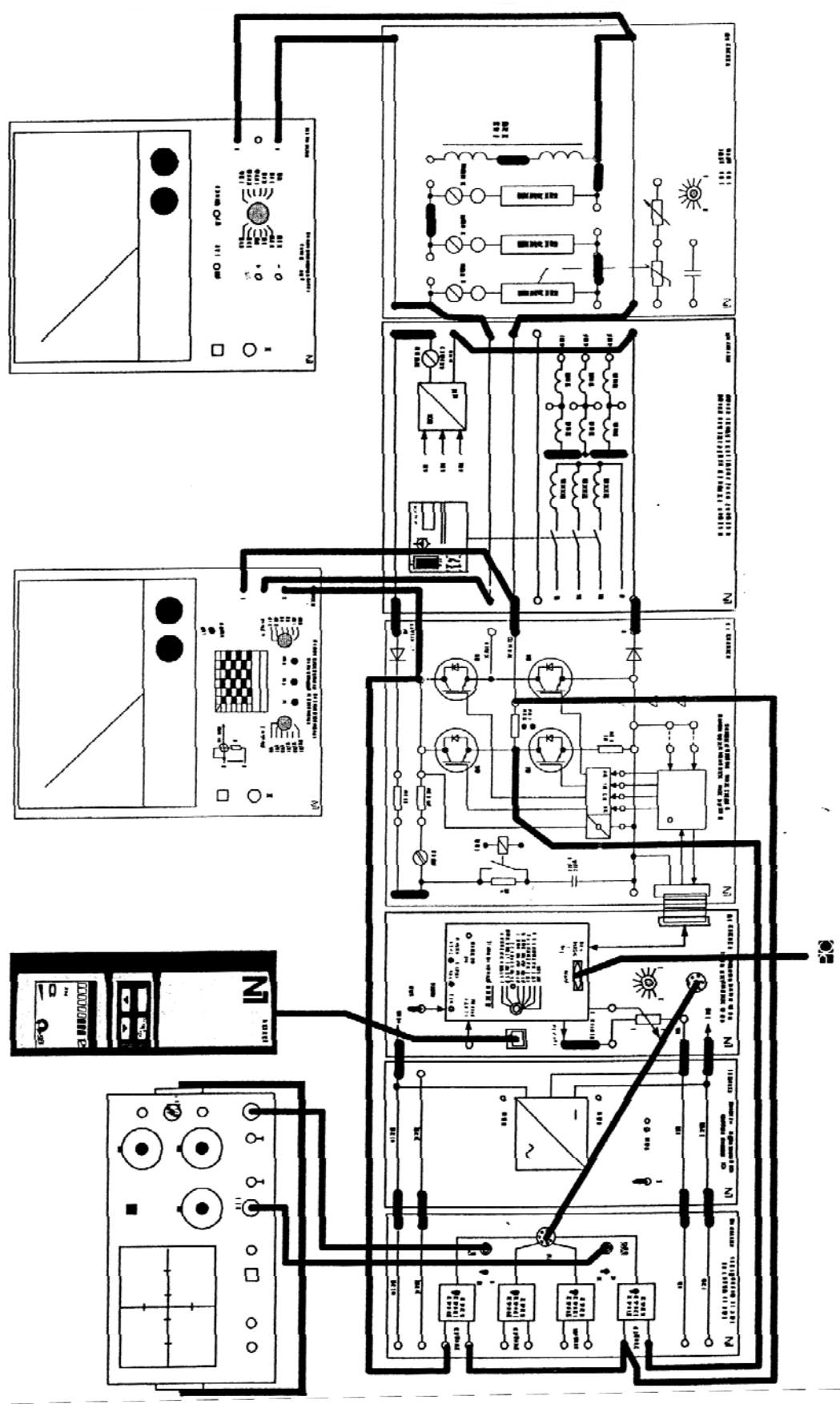


Fig.III.3 : Schéma de connexions pour un hacheurs série à charge résistive R

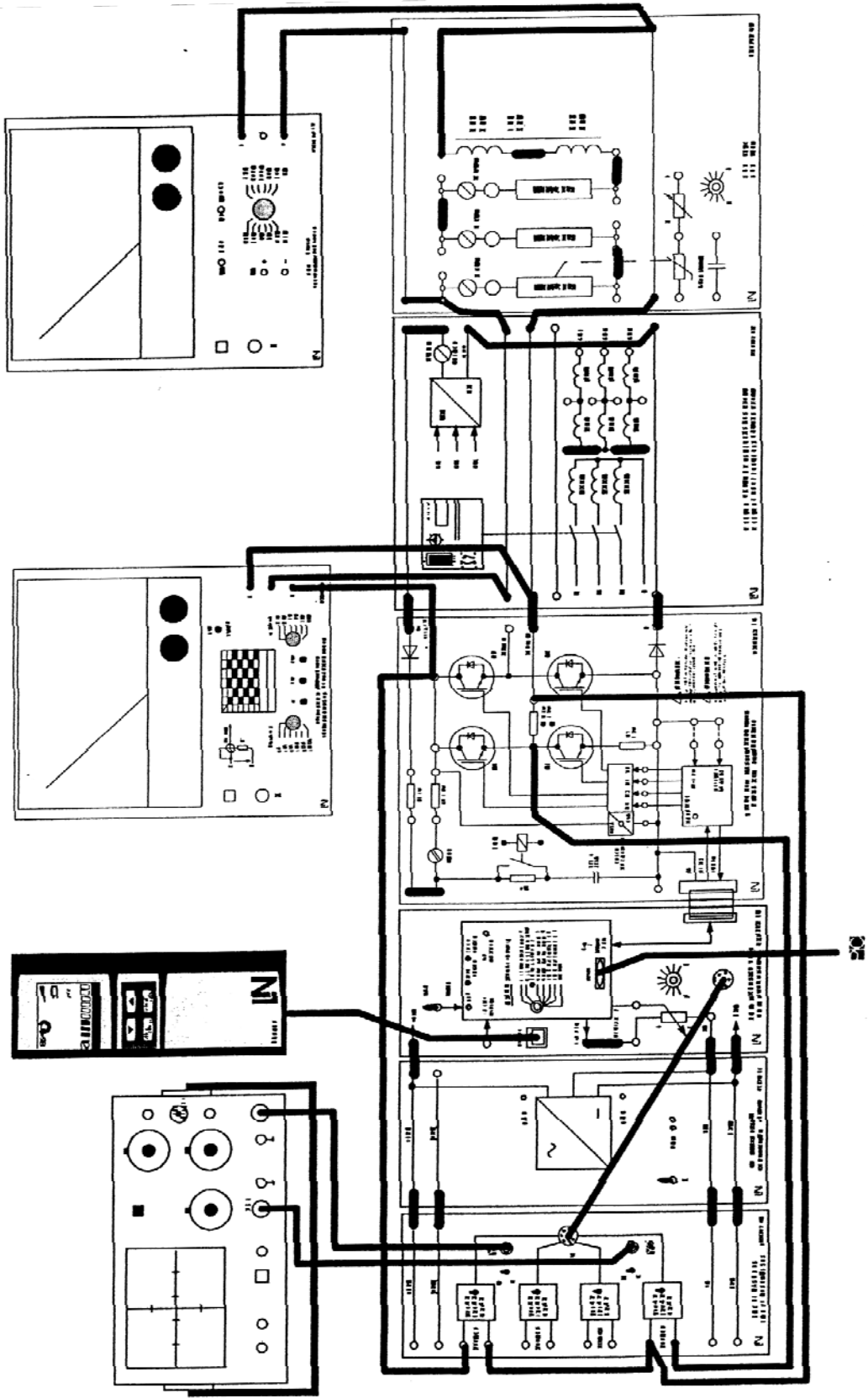


Fig.III.4 : Schéma de connexions pour un hacheurs série à charge passive (résistive-inductive 'RL')

TP4 :

GRADATEUR MONOPHASE

BUT DE LA MANIPULATION

Dans ce présent TP, nous nous proposons d'étudier le fonctionnement d'un gradateur monophasé débitant différents types de charges (*R et RL*) et de confronter les différents résultats obtenus théoriquement en cours avec les résultats pratiques (formules et chronogrammes).

Définition

Un gradateur c'est un convertisseur statique qui produit un système de tension et courant alternatifs variable à partir d'une source de tension alternative, sans en modifier la fréquence.

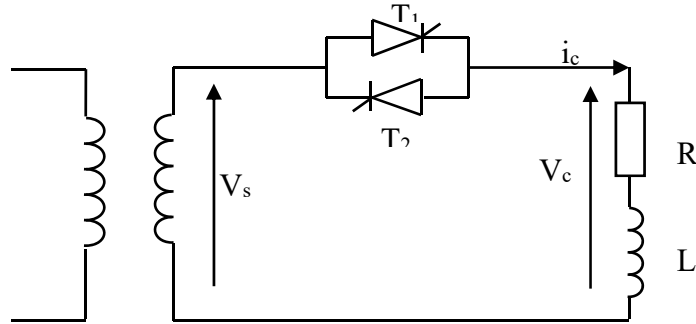
- *L'intensité de courant du courant débité par la source est la même que celle absorbé par le récepteur.*
- *La fréquence (f) est imposée par la source.*

GRADATEUR MONOPHASE :

Principe de fonctionnement:

Le gradateur est constitué soit de deux thyristors identiques montés en parallèle inverse, soit d'un triac lorsque la puissance contrôlée est très faible (Figure VI.1). Il est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace constante, et fournit à la charge une tension alternative non sinusoïdale de même fréquence que la tension d'alimentation, mais de valeur efficace réglable. Les impulsions de commande des gâchettes des thyristors sont générées périodiquement aux instants successifs. Le thyristor *Th1* est amorcé durant l'alternance positive avec un angle de retard θ par rapport au passage par zéro de la tension secteur. Le thyristor *Th2* est amorcé durant l'alternance négative avec le même angle de retard. On obtient alors aux bornes de la charge la forme de tension suivante (Figure VI.2 et Figure VI.3).

La valeur efficace de la tension alternative aux bornes de la charge peut être réglée en agissant sur le retard angulaire de l'impulsion de commande de chaque thyristor.



FigVI.1 : Schéma de principe d'un gradateur.

Calcul de la valeur de la tension effective Charge R:

Dans le cas des gradateurs on s'intéresse à la variation de la tension efficace. La valeur moyenne de la tension est nulle. La valeur de la tension effective:

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{chmoy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^T V_{ch}(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_e(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_{emax} \sin(\omega t) dt = 0$$

$$V_{chmoy} = 0 \quad (VI.1)$$

Valeur moyenne du courant de charge :

$$I_{chmoy} = 0 \quad (VI.2)$$

Valeur efficace de la tension aux bornes de la charge :

$$(V_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi/2} (V_e(t))^2 dt + \int_{\pi/2+\alpha}^{\pi} (V_e(t))^2 dt$$

$$V_{cheff} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (VI.3)$$

Valeur efficace du courant de charge :

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (I_{ch}(t))^2 dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t)/R)^2 dt$$

$$(I_{cheff})^2 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} (V_{ch}(t))^2 dt \right] = \frac{(V_{cheff})^2}{R^2}$$

$$I_{cheff} = \frac{V_{cheff}}{R} = \frac{V_{emax}}{\sqrt{2}R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (VI.4)$$

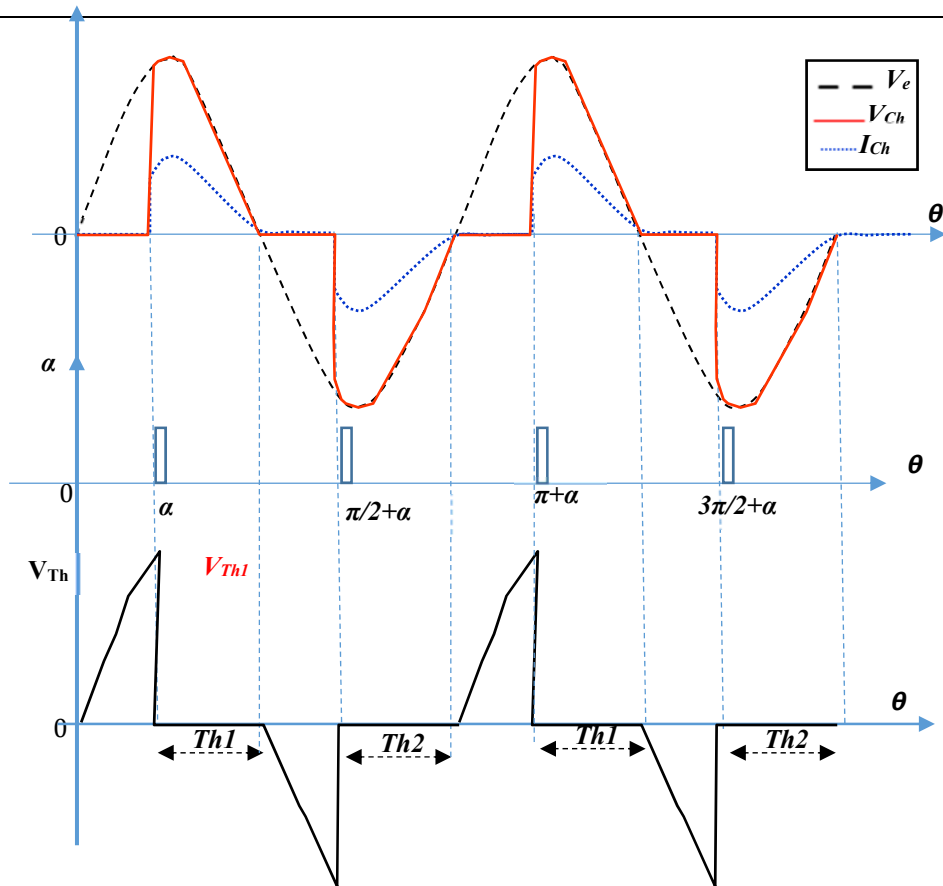


FIG VI.2 : Formes d'ondes des grandeurs électriques d'un gradateur monophasé charge R

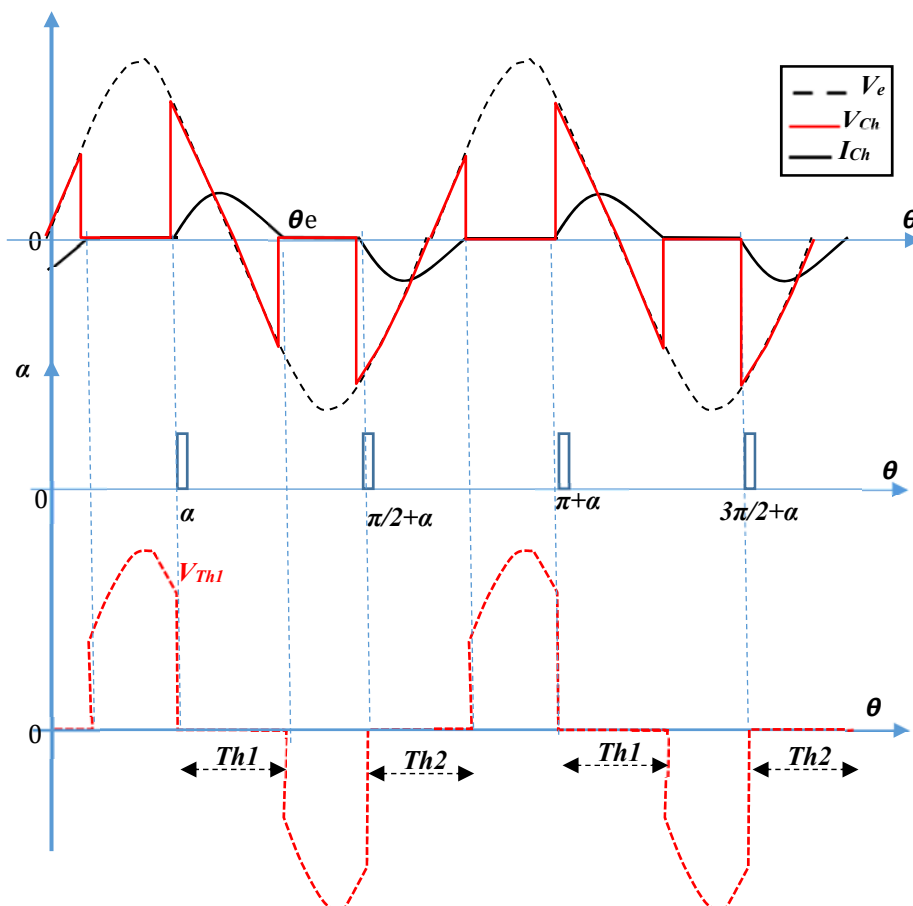


FIG VI.3 : Formes d'ondes des grandeurs électriques d'un gradateur monophasé charge RL

Etude pratique : REDRESSEMENT MONOPHASE SIMPLE ALTERNANCE

Dans cette expérience, on étudie le fonctionnement d'un gradateur monophasé à deux thyristors dans le cas d'une charge purement résistive, puis d'une charge résistive et inductive. On relève les diverses formes d'onde de tension et de courant et les caractéristiques de sortie V_{chmoy} , I_{chmoy} , V_{cheff} , I_{cheff} en fonction de l'angle d'amorçage.

PARTIE A : sur une charge R

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions doivent être enfichées lorsqu'elles sont hors tension, c'est-à-dire que l'alimentation en tension de l'électronique de commande ainsi que le transformateur de séparation doivent être coupés lorsque les raccords sont réalisés selon le schéma de connexions

- Réalisez le circuit électrique suivant le présent schéma des connexions comme indiqué dans la figure VI.4.
- *Via le transformateur de valeur de consigne intégré de l'unité de commande universelle, sélectionnez le mode 1 PHASE CONTROL avec le sélecteur de modes de fonctionnement.*
- Connecter les appareils en utilisant une résistance de charge de 270 Ohm, puis une charge R-L ($L = 0.3 H, 1.2 H$)
- Activez le transformateur-séparateur
- Pour afficher les courbes temps sur l'oscilloscope, effectuez les réglages suivants sur l'oscilloscope : CH1 : 1V/DIV, CH2 : 0.2V/DIV, **Time : 1ms/DIV**
- Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure respectives avec l'interrupteur à bascule :

Travail demandé :

1. Présenter l'objectif de la manipulation et faire une présentation générale des montages gradateurs
2. Présenter le principe de fonctionnement des gradateurs monophasés et triphasés tout thyristors.
3. Visualiser les tensions de gâchette séparément pour chacun des thyristors.
Pour deux valeur de l'angle d'amorçage $\alpha = 45^\circ$ et $\alpha = 90^\circ$
4. Relever les indications des différents appareils de mesure (tension et courant au niveau de la charge;
5. Relever les chronogrammes de ces grandeurs demandées :
 - Tension de charge, courant de charge et tension de source (V_{Ch} , I_{Ch} , V_e).
 - Tension aux bornes du thyristor, courant à travers le thyristor (V_{T1} , I_{T1}).

6. Calculer les valeurs efficaces et moyennes des grandeurs électriques mesurées, comparer les résultats retrouvés aux valeurs mesurer.
7. Mesurez la valeur effective de la tension de sortie alternative, la puissance apparente, la puissance effective, la puissance déwattée absorbée et la puissance déwattée d'oscillation de base selon l'angle de commande α . ($\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$)
8. Tracez V_{cheff} (V), I_{cheff} (A), $P(W)$, $Q(Var)$ et $S(VA)$ en fonction de α
9. Comparez les résultats mesurera à la théorie

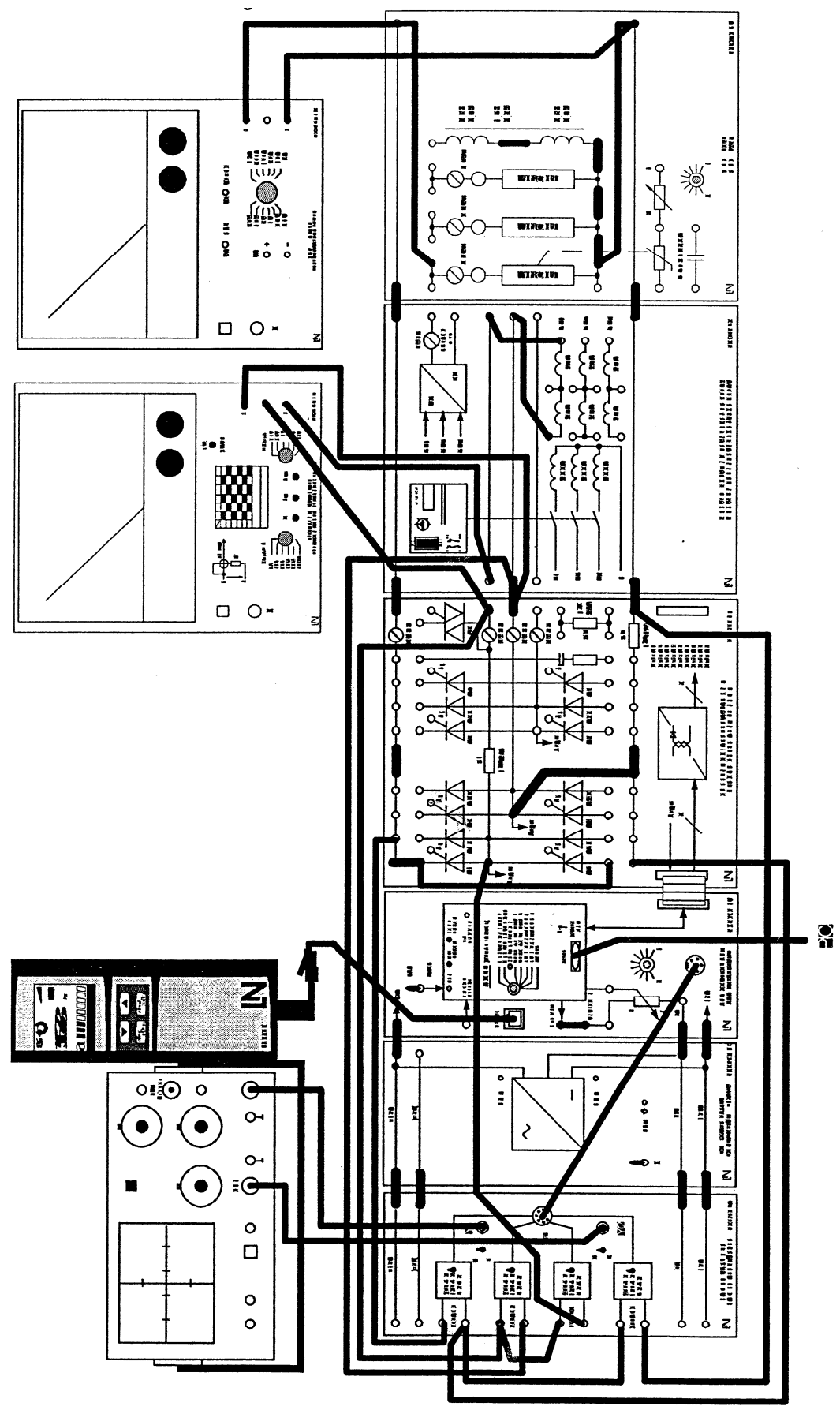


Fig VI.4: Schéma de connexions d'un Gradateur monophasé

TP5:

ONDULEURS MONOPHASES

INTRODUCTION :

Les convertisseurs de courant continu en courant alternatif sont appelés des onduleurs. La fonction d'un onduleur est de convertir une tension continue d'entrée en une tension de sortie alternative symétrique d'amplitude et de fréquence désirée.

L'onduleur monophasé :

La tension de sortie peut prendre pour valeur $+Ve, -Ve, 0 V$. Cela implique une structure en pont (*identique à celle d'un hacheur 4 quadrants*) :

Deux types de commandes sont envisageables :

- Une commande pleine onde (*1 créneau par alternance*) : $f_{dec} = f_{charge}$,
- Une commande par *Modulation de Largeur d'Impulsions* (MLI) : $f_{dec} > 20 f_{charge}$ (*terme anglo-saxon : PWM = Pulse Width Modulation*).

Fonctionnement en commande pleine onde :

Dans ce mode de commande, les interrupteurs travaillent à la fréquence des grandeurs électriques de sortie.

Nous pouvons distinguer deux types de commande pleine onde :

La commande est simultanée ou décalée. Pour ce fonctionnement la durée de conduction t_{ON} , d'un interrupteur (K) est de $T/2$ et est constante.

La nature des interrupteurs dépend de la charge. Ils peuvent être commandés seulement au blocage si la charge est inductive (amorçage si capacitive). Par contre si la charge est quelconque les interrupteurs doivent être entièrement commandables.

Mais dans tous les cas, ils doivent être unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant.

Onduleur de tension :

On appelle onduleur de tension, un onduleur alimenté par une source de tension continue. On présente le principe des onduleurs de tension dans le cas où la sortie est monophasée et utilisons l'onduleur en pont à quatre interrupteurs: $K1, K2, K1'$ et $K2'$.

La *Figure.V.1* représente le circuit de puissance d'un tel onduleur (pont monophasée) et la *Figure.V.2* représente les signaux de commande et les formes d'ondes des tensions :

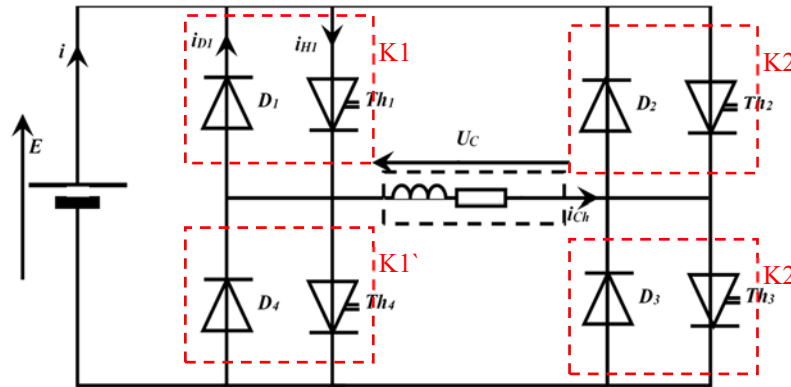


Fig V.1: Onduleur monophasé en pont complet

Les états des interrupteurs commandés nous permettent de donner l'expression de $U_d(t)$ comme suit:

Si la tension d'entrée de l'onduleur est constante et égale à U , quel que soit I , on a :

➤ Pour $0 < t < T/2$: les interrupteurs, $K1, K2'$ sont fermés, et $K2, K1'$ sont ouverts.

D'où:
$$U_d = +U \quad (V.1)$$

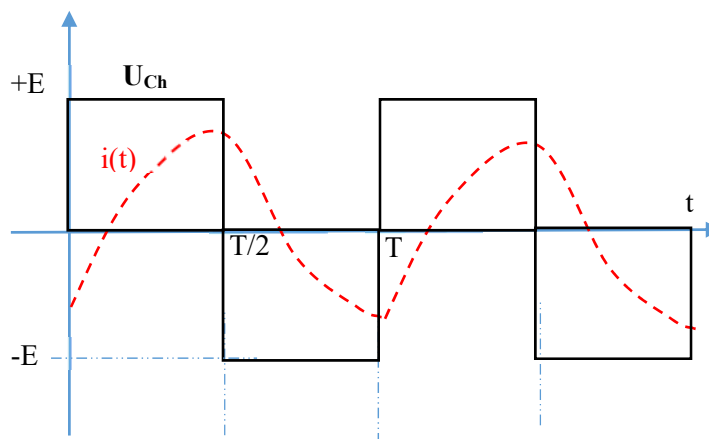
➤ Pour $T/2 < t < T$: les interrupteurs, $K2, K1'$ sont fermés, et $K1, K2'$ sont ouverts.

D'où:
$$U_d = -U \quad (V.2)$$

Le courant de la sortie est donc le courant I à l'entrée, dépendant de la charge placée du côté alternatif.

Notant que les interrupteurs K_i de l'onduleur (**Fig.**) sont formés par la mise en parallèle d'un *semi-conducteur* T_i commandé à l'ouverture et à la fermeture et d'une diode D_i , assurant la continuité de courant permettant ainsi la conduction d'un courant négatif dans le cas où le courant est déphasé par rapport à la tension de sortie.

La **figure V.2.** Donne la forme de $U_{ch}(t)$ sur une période complète de fonctionnement.



FigV.2: Tension et courant de charge la de sortie de l'onduleur

Etude pratique :

ONDULEURS MONOPHASES

Pour des raisons de sécurité, toutes les connexions doivent être enfichées lorsqu'elles sont hors tension, c'est-à-dire que l'alimentation en tension de l'électronique de commande ainsi que le transformateur de séparation doivent être coupés lorsque les raccords sont réalisés selon le schéma de connexions

- Réalisez le circuit électrique comme indiqué dans la **figure V.3**.
- Connecter les appareils
- Mettez le convertisseur a quatre quadrants sous charge *Ohmique-Inductif* **R=810Ω, L=1.2 H**.
- Activez le transformateur-séparateur
- Activez le convertisseur de courant on sélectionne le mode PWM CONTROL (*Mode quatre quadrants, degré de plage xx%*), LF. La modulation d'impulsion en largeur fonctionne alors à la basse fréquence 112 Hz (Low Frequency),
- Sélectionner les options suivantes :
 - ✓ Le rapport cyclique (est variable 25% par exemple)
 - ✓ La fréquence de la commutation du transistor 112Hz
 - ✓ Mode à quatre quadrants (4 transistors)
- Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure suivants :

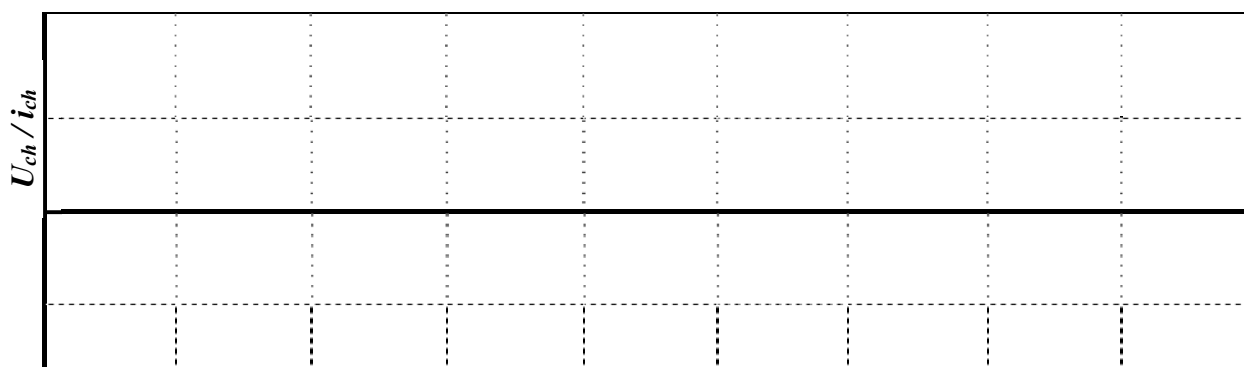
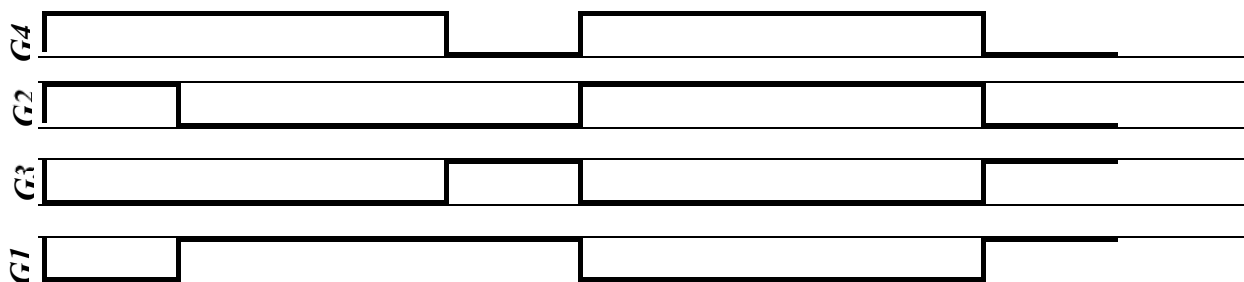
Tension de sortie (A)	400 V
Courant de sortie (D)	2,5 V
Shunt 1	8,0 Ohm
Shunt 2	1,5 Ohm

- Affichez les signaux du montage suivants :
 - ✓ Tension de sortie,
 - ✓ Courant de sortie,
 - Pour afficher les courbes temps sur l'oscilloscope, effectuez les réglages suivants sur l'oscilloscope : CH1 : 1V/DIV, CH2 : 0.2V/DIV, **Time : 1ms/DIV**
 - Sur l'amplificateur de mesure différentielle, sélectionnez les grandeurs de mesure respectives avec l'interrupteur à bascule :

Pos Commut	Grandeur de mesure	Plage de mesure
A	Tension de sortie	400V
B		
C		
D	Courant de sortie	2.5A

Manipulation du matériel:

- Mettez le convertisseur à un quadrant sous charge ohmique de $R = 810\ \Omega$ et $L=1,2H$.
- Tracez les courbes temps de tension et courant pour $\alpha=75\%$ (*Feuilles de réponse*)



➤ **Soit le Tableau III.**

- Cochez dans le tableau les vannes respectivement actives
- Notez la direction de tension et courant (*positif, négatif, nulle*)
- Déterminez les phases de roue libre (RL)

V1						
V2						
V3						
V4						
U_{ch}						
I_{ch}						

- Analysez l'action de IGBT et des diodes dans la commutation de courant

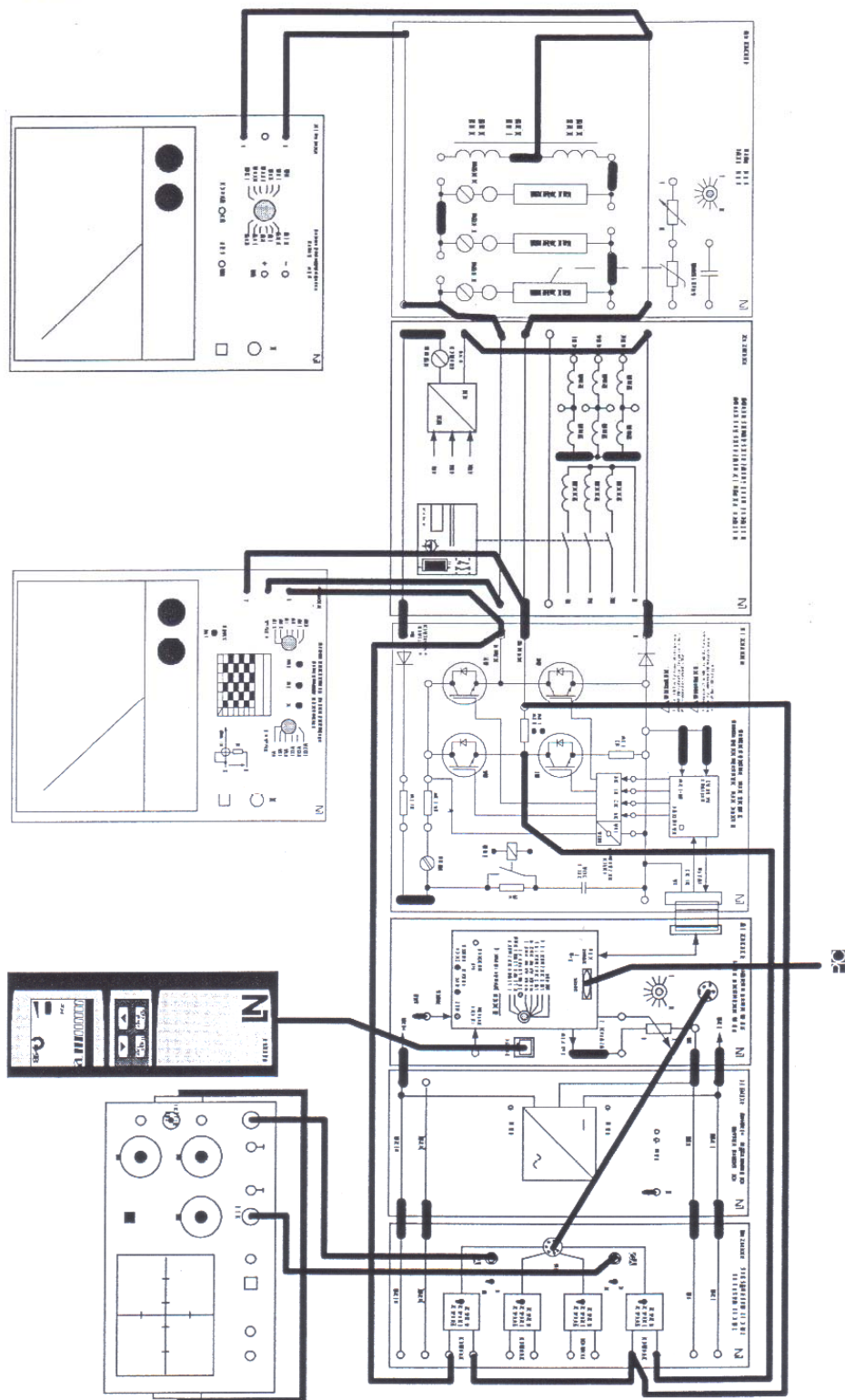


Fig V.3 : Schéma de connexions d'un onduleur monophasé

*R*éférences :

- [1] **L-Nülle**. Convertisseurs de courant commutés par réseau SO5164-8D. *Lucas-Nülle GmbH, 1997*
- [2] **Séguier, Guy, Robert Bausière, and Francis Labrique**. "Électronique de puissance." *Editions Dunod (2004)*.

*A*nnexe :

Sujets d'étude EPE10 : Convertisseurs statiques à commutation naturelle

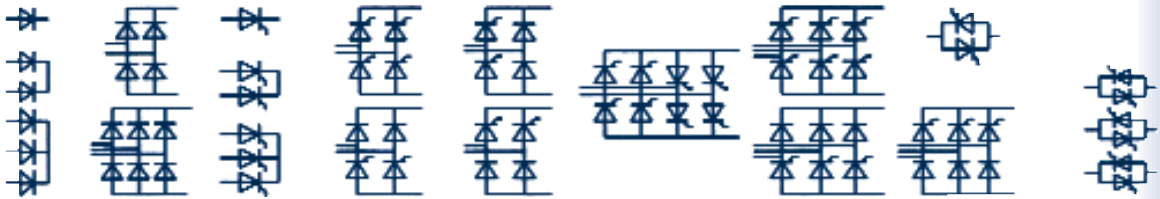
Notions de base

Interrupteurs de puissance : diode, thyristor, triac ; circuit de protection, technique de mesure, redressement, charge ohmique, capacitive et inductive, caractéristiques de commande et diagrammes de fonctionnement, analyse de fréquence et observation des harmoniques.

Principes de commande

Découpage de phase, commande par ondes pleines, commande par trains d'impulsions, commande par type d'impulsions, mode redresseur, mode onduleur, fonctionnement dans les quatre quadrants.

Circuits



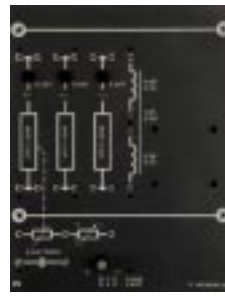
La mise en œuvre de didacticiels transforme le matériel en un système complet, parfaitement adapté aux travaux pratiques.

- Paramétrage et commande du matériel, modulation
- Mesure et documentation des résultats des essais
- Visualisation des rapports et des technologies
- Domaine temporel, domaine de fréquence, représentations vectorielles, schémas fonctionnels

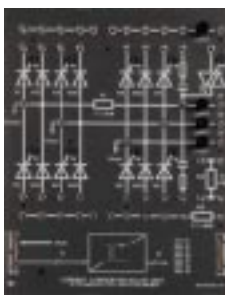
Composants du système EPE10 : Convertisseurs statiques à commutation naturelle



SO3636-1A Élément de déclenchement universel numérique avec commande par microcontrôleur pour les convertisseurs statiques à commutation naturelle et à commutation forcée pour le montage de hacheurs, de gradateurs de courant alternatif et de gradateurs triphasés avec : commande par découpage de phase, commande par trains d'impulsions, modulation de largeur d'impulsions, modulation de tensions monophasées et triphasées.



SO3636-2A Charge RLC
Avec 3 résistances de 270 Ω et 3 lampes témoins connectables dans un montage en triangle, en étoile, série et parallèle, une inductance à prise médiane et un condensateur. Les résistances sont couplées à un capteur de température, pour le montage de boucles de régulation de la température.

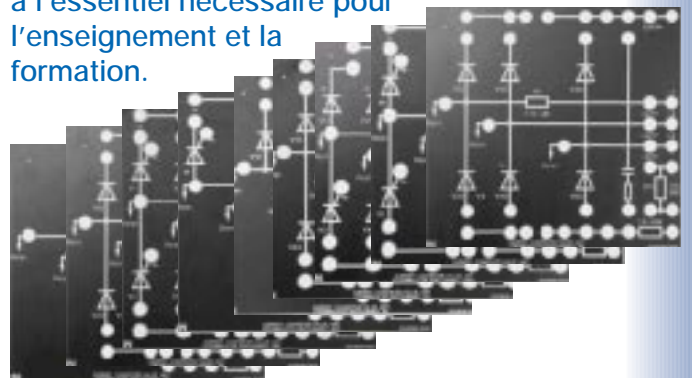


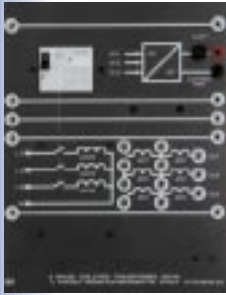
SO3636-1F Convertisseur universel, compact
Pour tous les circuits convertisseurs usuels. Avec 15 thyristors, diodes, triacs, respectivement à séparation galvanique, des résistances de mesure, un circuit de protection, des fusibles et une connexion

à l'élément de déclenchement assurée par un câble plat. Alimentation : 0 à 230 V CA, courant de sortie : 0 à 4 A.

SO3636-1G Jeu de masques (9 pièces)

Les masques réduisent le convertisseur universel à l'essentiel nécessaire pour l'enseignement et la formation.





SO3636-2G

Transformateur triphasé

Pour l'alimentation en tension sûre et séparée du réseau de tous les essais d'électronique de puissance. Les enroulements secondaires peuvent être utilisés, au choix, dans un montage en étoile ou en triangle.

Un redresseur en pont (B6) génère une tension continue à faible ondulation pour l'alimentation d'un circuit intermédiaire de tension continue ou pour l'entraînement de machines à courant continu. Le transformateur est protégé thermiquement et le redresseur par un fusible instantané.



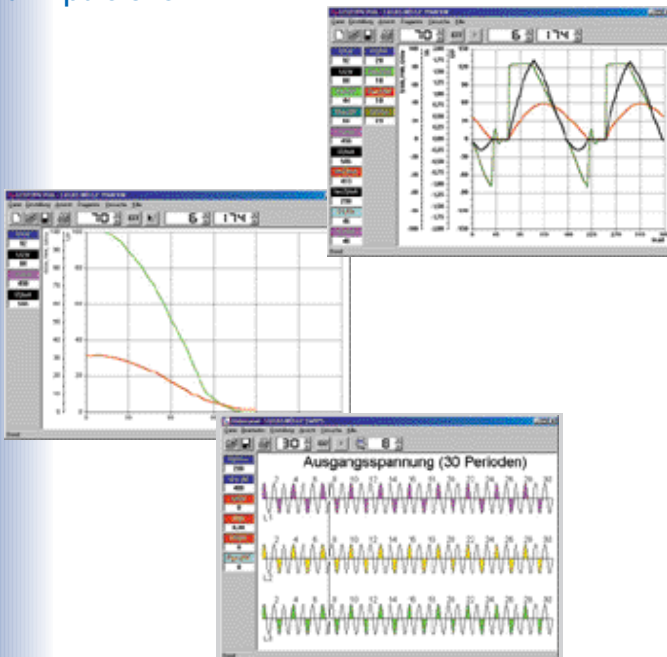
SO3636-2V

Amplificateur de mesure différentiel

Pour une mesure hors potentiel sans danger de jusqu'à quatre tensions dangereuses en cas de contacts fortuits, à connecter à l'élément de déclenchement universel et /ou à un oscilloscope.

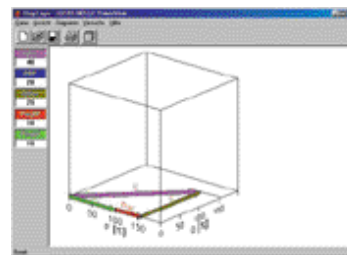
SO6011-1A Logiciel Electronique de puissance

Logiciel de base avec les programmes PHACON, SWIPS, PWM ; paramétrage de l'unité de commande, allures des signaux, caractéristiques de commande, valeurs efficaces etc. avec la commande par découpage de phase, la commande par trains d'impulsions, la modulation de largeur d'impulsions.

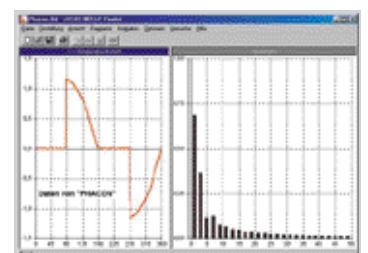


SO6011-1K Logiciel PowerView

Pour la représentation vectorielle en trois dimensions de la puissance d'entrée et de sortie. Visualisation de la composante continue et alternative des puissances active, réactive et apparente sous forme de valeurs numériques dans des instruments d'affichage.



SO6011-1H Analyse et synthèse de Fourier avec DDE pour l'analyse dans la gamme de fréquence entre autres des allures mesurées ou enregistrées avec le programme PHACON, assemble les composantes spectrales dans une représentation animée pour ainsi obtenir des courbes.



Sujets d'étude EPE20 : Convertisseurs statiques à commutation forcée

Notions de base

IGBT, circuit de protection, circuit intermédiaire, technique de mesure, concepts de montage, roue libre, charge ohmique, capacitive et inductive, caractéristiques de commande et diagrammes de fonctionnement, points de base, fréquence d'horloge, ondulation, analyse de fréquence et observation des harmoniques.

Principes de commande

Modulation de largeur d'impulsions, hacheur en fonctionnement dans le 1^{er}, 2^{ème} et 4^{ème} quadrants, modulation de tension alternative basse fréquence avec modulation de largeur d'impulsions.

Circuits

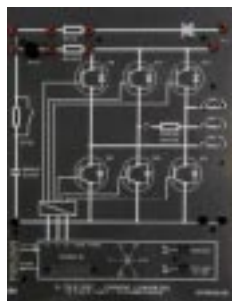


Composants du système EPE20 : Convertisseurs statiques à commutation forcée

Complément pour EPE10

SO3636-1R Convertisseur à IGBT sextuple

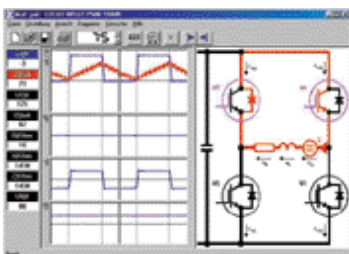
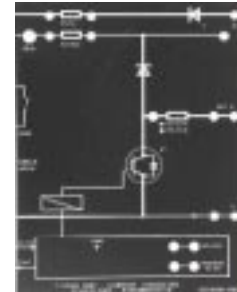
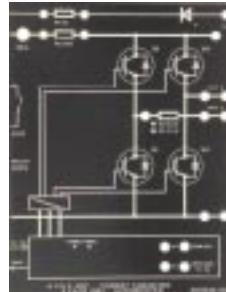
Pour la réalisation de hacheurs, pour la génération de courant alternatif et triphasé sur des charges actives et passives quelconques. Utilisation comme convertisseur-inverseur de fréquence, commutateur électronique pour les entraînements à commutation par la charge.



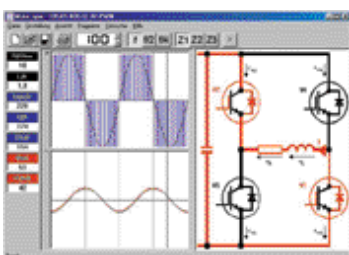
Alimentation : 0 à 320 V CC
Tension de sortie : 0 à 300 V
Courant de sortie : 0 à 3 A
Entrées de commande via connexion par câble plat. Raccord pour indicateur de position du rotor, 9 points de mesure pour les signaux de commande, 3 résistances de mesure du courant, séparation galvanique par optocoupleur.

SO3636-1S Jeu de masques (2 pièces)

Les masques réduisent le convertisseur universel à l'essentiel nécessaire pour l'enseignement et la formation.



SO6011-1E Logiciel PWM-TRAIN pour le paramétrage de l'unité de commande, pour la mesure et la représentation de l'évolution temporelle de la tension et du courant dans tous les interrupteurs de puissance et de la charge. Avec schéma des connexions animé pour la représentation des interrupteurs de puissance actifs, des circuits de courant et de roue libre. Mesure de caractéristiques de commande, de valeurs efficaces etc....



SO6011-1P Logiciel AC-PWM

Pour la représentation claire de la génération d'une tension alternative monophasée moyennant la modulation de largeur d'impulsions et donc le principe de fonctionnement des convertisseurs de fréquence. Etude de la modulation et des influences de la fréquence d'horloge et des paramètres du circuit de charge.