

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 147-2D**

Première édition — First edition

1972

---

**Quatrième complément à la Publication 147-2 (1963)**

**Valeurs limites et caractéristiques essentielles des dispositifs à semiconducteurs  
et principes généraux des méthodes de mesure**

**Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure**

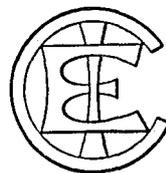
---

**Fourth supplement to Publication 147-2 (1963)**

**Essential ratings and characteristics of semiconductor devices  
and general principles of measuring methods**

**Part 2: General principles of measuring methods**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60147-2D:1972

# Withdrawn

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 147-2D**

Première édition — First edition

1972

---

**Quatrième complément à la Publication 147-2 (1963)**

**Valeurs limites et caractéristiques essentielles des dispositifs à semiconducteurs  
et principes généraux des méthodes de mesure**

**Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure**

---

**Fourth supplement to Publication 147-2 (1963)**

**Essential ratings and characteristics of semiconductor devices  
and general principles of measuring methods**

**Part 2: General principles of measuring methods**

---



*Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved*

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4

### CHAPITRE III: THYRISTORS

#### SECTION UN — THYRISTORS TRIODES BLOQUÉS EN INVERSE

##### Paragraphes

1.8 Temps d'amorçage par la gâchette . . . . .	8
1.9 Temps de désamorçage par commutation du circuit . . . . .	12
1.9.1 Première méthode . . . . .	14
1.9.2 Autre méthode . . . . .	18
1.10 Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué. . . . .	26
1.10.1 Méthode de la vitesse de croissance linéaire. . . . .	26
1.10.2 Méthode de la vitesse de croissance exponentielle . . . . .	28

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60147-2D:1972

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5

### CHAPTER III: THYRISTORS

#### SECTION ONE — REVERSE BLOCKING TRIODE THYRISTORS

Sub-clause

1.8 Gate controlled turn-on time . . . . .	9
1.9 Circuit commutated turn-off time . . . . .	13
1.9.1 First method . . . . .	15
1.9.2 Alternative method . . . . .	19
1.10 Critical rate of rise of off-state voltage . . . . .	27
1.10.1 Linear rate of rise method . . . . .	27
1.10.2 Exponential rate of rise method . . . . .	29

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60147-20:1972

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**QUATRIÈME COMPLÈMENT A LA PUBLICATION 147-2 (1963)**

**VALEURS LIMITES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DES DISPOSITIFS  
A SEMICONDUCTEURS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MÉTHODES DE MESURE**

**Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 47 de la CEI: Dispositifs à semi-conducteurs et circuits intégrés.

Elle constitue le Quatrième complément à la Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure, de la Publication 147 de la CEI. La première partie, traitant des valeurs limites et des caractéristiques essentielles, est éditée comme Publication 147-1 de la CEI.

Trois projets différents ont été utilisés dans ce complément.

Les paragraphes 1.8, 1.9.1 et 1.10 (sauf la spécification de la linéarité de la forme d'onde de la tension d'essai) résultent des travaux qui ont débuté lors d'une réunion qui s'est tenue à Copenhague en 1962. Le projet correspondant a été diffusé aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en octobre 1966. Comme il a donné lieu à de nombreuses modifications, il a de nouveau été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois en mars 1969.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de ces méthodes de mesure:

Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FOURTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 147-2 (1963)**  
**ESSENTIAL RATINGS AND CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES**  
**AND GENERAL PRINCIPLES OF MEASURING METHODS**

**Part 2: General principles of measuring methods**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 47: Semiconductor Devices and Integrated Circuits.

It constitutes the fourth Supplement to IEC Publication 147, Part 2: General Principles of Measuring Methods. Part 1, dealing with Essential Ratings and Characteristics, is issued as IEC Publication 147-1.

Three different drafts were used for this Supplement.

Sub-clauses 1.8, 1.9.1 and 1.10 (except the specification of the linearity of the test voltage waveform) result from the work started at a meeting held in Copenhagen in 1962. The relevant draft was circulated to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1966. As many amendments occurred, it was submitted again to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March 1969.

The following countries voted explicitly in favour of the publication of these methods of measurement:

Australia	Netherlands
Belgium	Sweden
Canada	Switzerland
Czechoslovakia	Turkey
Denmark	Union of Soviet
France	Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Italy	United States
Japan	of America

La spécification de la linéarité de la forme d'onde de la tension d'essai (dans le paragraphe 1.10.1) résulte des travaux qui ont débuté à la réunion de Zurich en 1966. Un projet a été diffusé aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en août 1968.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de l'inclusion de cette précision pour la méthode d'essai dans la publication:

Afrique du Sud	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Corée (République Démocratique et populaire de)	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Une autre méthode de mesure du temps de désamorçage par commutation du circuit (paragraphe 1.9.2) a été proposée pendant la réunion de Tokyo en 1965. Le projet correspondant a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en septembre 1967.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de cette deuxième méthode (décrite dans le paragraphe 1.9.2 de la présente publication):

Afrique du Sud	France
Allemagne	Italie
Australie	Pays-Bas
Autriche	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie

Les Comités nationaux du Japon et de l'URSS ont voté contre la publication de cette méthode de mesure.

Cette Publication est la suite de la Publication 147-2A (1969).

The specification of the linearity of the test voltage waveform (in Sub-clause 1.10.1) results from the work started at the Zurich meeting in 1966. A draft was circulated to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1968.

The following countries voted explicitly in favour of the inclusion of this precision in test method in the Publication:

Australia	Korea (Democratic People's Republic of)
Belgium	Netherlands
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America

An alternative method of measurement for circuit commutated turn-off time (Sub-clause 1.9.2) was proposed during the meeting held in Tokyo in 1965. The relevant draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1967.

The following countries voted explicitly in favour of this alternative method (described in Sub-clause 1.9.2 of this Publication):

Australia	Italy
Austria	Netherlands
Belgium	Poland
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	United Kingdom
Germany	United States of America

The Japan and USSR National Committees voted against publication of this measuring method.

This Publication is the continuation of Publication 147-2A (1969).

---

## QUATRIÈME COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 147-2 (1963)

### VALEURS LIMITES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DES DISPOSITIFS A SEMICONDUCTEURS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MÉTHODES DE MESURE

#### Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure

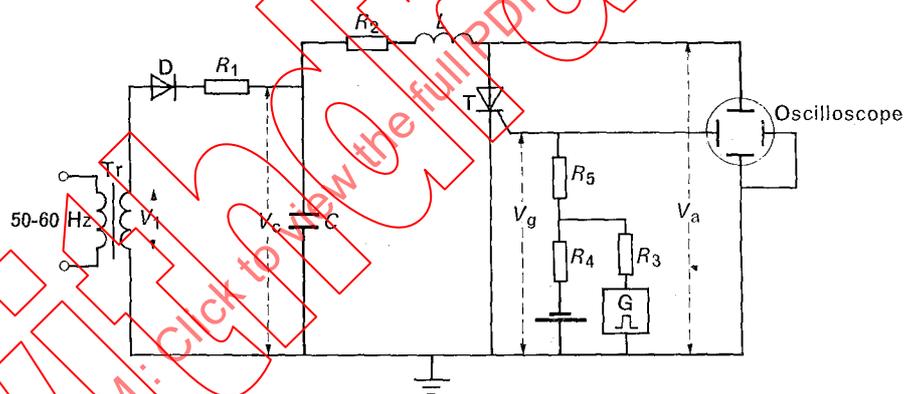
### CHAPITRE III: THYRISTORS

#### SECTION UN — THYRISTORS TRIODES BLOQUÉS EN INVERSE

1.8 Temps d'amorçage par la gâchette:  $t_{gt}$

1.8.1 Schéma du circuit

Le circuit de mesure est représenté par la figure 1.



T = thyristor à mesurer

FIG. 1. — Circuit de mesure du temps d'amorçage par la gâchette.

1.8.2 Description et exigences du circuit

Le condensateur  $C$  est chargé à la tension spécifiée  $V_c$  à travers la diode  $D$  pendant les demi-alternances positives de la tension d'alimentation à 50 ou 60 Hz. Pendant les demi-alternances négatives, le thyristor à mesurer est amorcé au moyen d'un signal de déclenchement synchronisé et le condensateur  $C$  se décharge (voir la figure 2a, page 10).

Les formes d'onde de la tension de gâchette  $V_g$  et de la tension d'anode  $V_a$  du thyristor sont représentées sur un oscilloscope à double trace (voir la figure 2b, page 10).

## FOURTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 147-2 (1963)

### ESSENTIAL RATINGS AND CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES AND GENERAL PRINCIPLES OF MEASURING METHODS

#### Part 2: General principles of measuring methods

### CHAPTER III: THYRISTORS

#### SECTION ONE — REVERSE BLOCKING TRIODE THYRISTORS

1.8 Gate controlled turn-on time:  $t_{gt}$

1.8.1 Circuit diagram

The measurement circuit is shown in Figure 1.

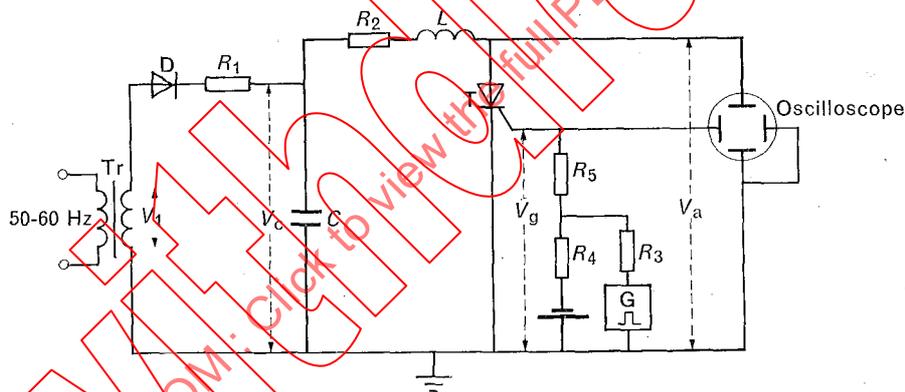


FIG. 1. — Measurement circuit for gate controlled turn-on time.

1.8.2 Circuit description and requirements

The capacitor  $C$  is charged to the specified voltage  $V_c$  through diode  $D$  during the positive half cycles of 50 to 60 Hz supply voltage. During the negative half-cycles, the thyristor to be measured is turned on by means of a synchronized trigger signal and capacitor  $C$  is discharged (see Figure 2a, page 11).

The waveforms of gate voltage  $V_g$  and anode voltage  $V_a$  of the thyristor are displayed on a dual-trace oscilloscope (see Figure 2b, page 11).

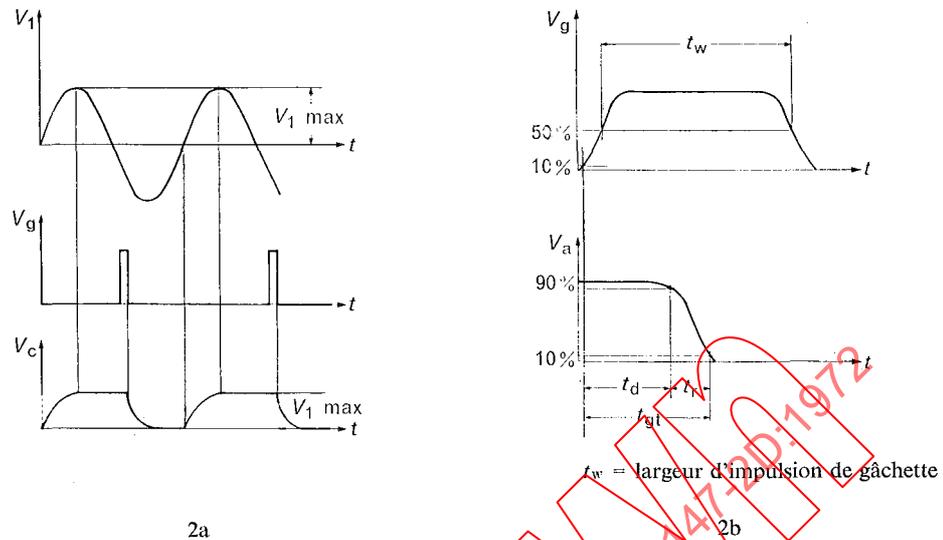


FIG. 2 — Formes d'onde.

La résistance  $R_1$  sert à limiter le courant de charge et à protéger la diode D.

La résistance  $R_2$  sert à limiter le courant de crête du thyristor à sa valeur spécifiée. La constante de temps  $R_2C$  ne doit pas être inférieure à dix fois le temps de croissance spécifié, mais doit être assez petite pour permettre une décharge complète du condensateur  $C$  avant le cycle de charge suivant.

L'inductance  $L$  sert à protéger le thyristor et comprend les inductances parasites dues au câblage du circuit. Le rapport  $L/R_2$  doit être spécifié.

Le réseau connecté au circuit de gâchette est un exemple de réalisation; cependant, les conditions de circuit et de polarisation de gâchette doivent être spécifiées.

Le temps de croissance du signal de déclenchement ne doit pas être supérieur à 10% du temps de retard spécifié. La durée du signal de déclenchement doit être suffisamment longue par rapport au temps d'amorçage spécifié pour que le résultat n'en soit pas affecté, à la précision désirée de la mesure près.

Le temps d'amorçage par la gâchette est la somme du temps de retard  $t_d$  et du temps de croissance  $t_r$  du courant d'anode du thyristor. Le temps de retard est mesuré comme étant l'intervalle de temps qui sépare le point à 10% du flanc d'attaque de l'impulsion de déclenchement appliquée à la gâchette, du temps où la tension aux bornes du thyristor a diminué jusqu'à 90% de sa valeur initiale (avant le déclenchement).

Le temps de croissance est mesuré comme étant l'intervalle de temps pendant lequel la tension d'anode du thyristor a déchu de 90% à 10% de sa valeur initiale (avant le déclenchement).

Quand la tension à l'état bloqué du thyristor n'est pas grande vis-à-vis de sa tension à l'état passant, la mesure du temps de croissance doit être effectuée comme étant l'intervalle de temps entre 90% et 10% de la différence entre les tensions à l'état bloqué et à l'état passant.

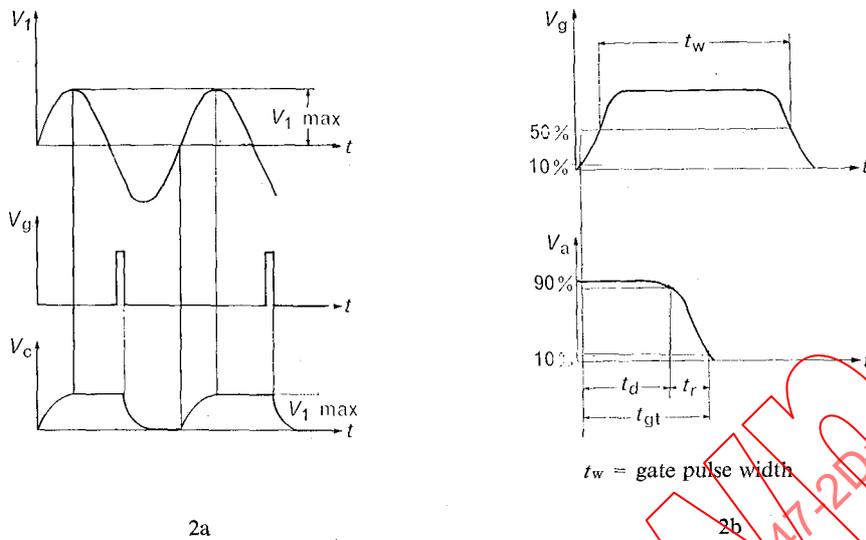


FIG. 2. — Waveforms.

Resistor  $R_1$  is used to limit the charging current and protect the diode D.

Resistor  $R_2$  is used to limit the charging current of the thyristor to its specified value. The time constant  $R_2C$  should be not less than ten times the specified rise time, but must be small enough to allow complete discharge of capacitor  $C$  prior to the next charging cycle.

The inductor  $L$  is used for protection of the thyristor and includes any stray inductance due to circuit wiring. The ratio  $L/R_2$  should be specified.

The network connected to the gate circuit is an example for illustration; however the gate circuit conditions and gate bias should be specified.

The rise time of the trigger signal should not exceed 10% of the specified delay time. The duration of the trigger signal should be sufficiently long relative to the specified turn-on time, so that the result is not affected within the desired accuracy of measurement.

The gate controlled turn-on time is the sum of the delay time  $t_d$  and the rise time  $t_r$  of the thyristor anode current. The delay time is measured as the time interval between the 10% point on the leading edge of the gate trigger pulse and the time when the thyristor voltage has decreased to 90% of its initial value (before triggering).

The rise time is measured as the time interval during which the thyristor anode voltage has fallen from 90% to 10% of its initial value (before triggering).

When the off-state voltage of the thyristor is not high compared with its on-state voltage, the measurement of rise time should be measured as the time interval between 90% and 10% of the difference between the off-state and on-state voltages.

1.9 Temps de désamorçage par commutation du circuit:  $t_q$

But

Mesurer le temps de désamorçage par commutation du circuit d'un thyristor dans des conditions spécifiées.

Note. — Le temps de désamorçage par commutation du circuit est la somme du temps de recouvrement inverse  $t_{rr}$  et du temps de recouvrement par la gâchette  $t_{gr}$  (voir figure 3). On le mesure entre l'instant où le courant principal s'annule et celui où le thyristor est capable de supporter la tension à l'état bloqué sans commuter à l'état passant.

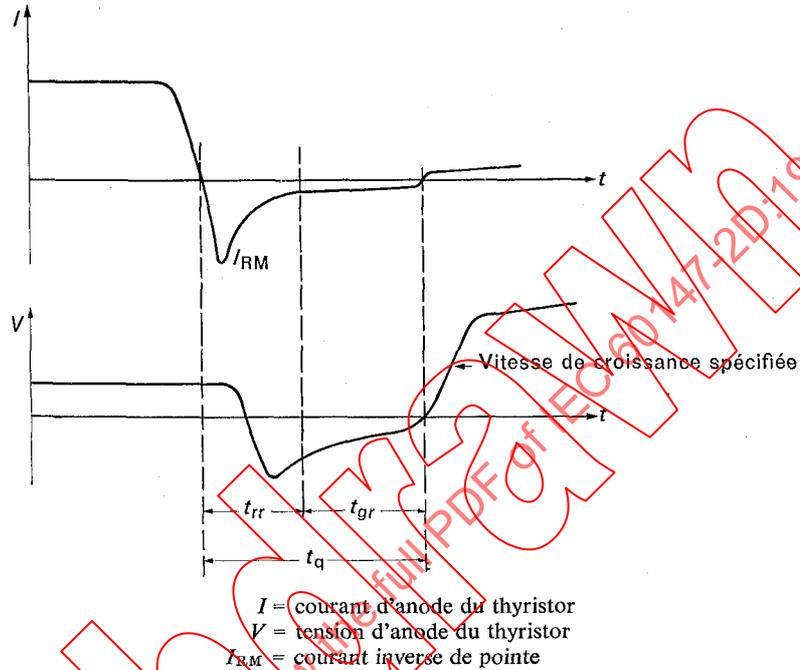
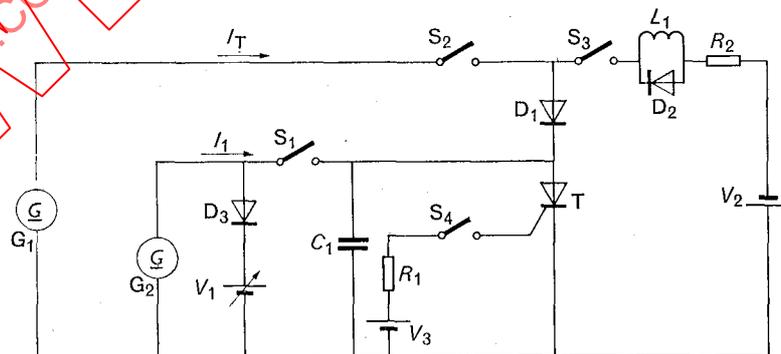


FIG. 3. — Formes d'onde pendant la commutation du thyristor.

Principe de fonctionnement

Le schéma de la figure 4 indique le principe de fonctionnement d'un circuit utilisé pour donner les formes d'onde indiquées sur la figure 3. Par commodité, le circuit utilise des générateurs de courant et des interrupteurs idéaux.



- $G_1$  = générateur à courant constant (à l'état passant)
- $G_2$  = générateur à courant constant (à vitesse de croissance variable)
- $T$  = thyristor en essai
- $V_2$  = source de tension inverse

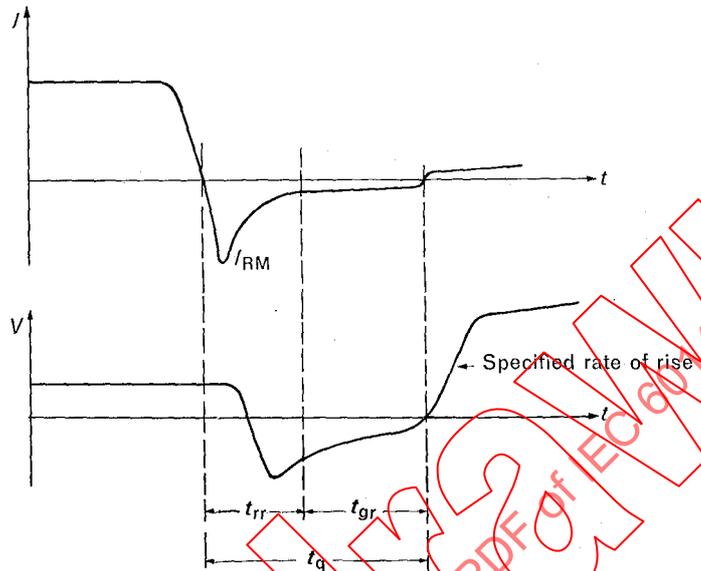
FIG. 4. — Schéma de principe du circuit.

1.9 Circuit commutated turn-off time:  $t_q$

Purpose

To measure the circuit commutated turn-off time of a thyristor under specified conditions.

Note. — The circuit commutated turn-off time is the sum of the reverse recovery time,  $t_{rr}$  and the gate recovery time,  $t_{gr}$  (see Figure 3). It is measured from the instant when the principal current has fallen to zero and the time when the thyristor is capable of blocking the off-state voltage without switching to the on-state.

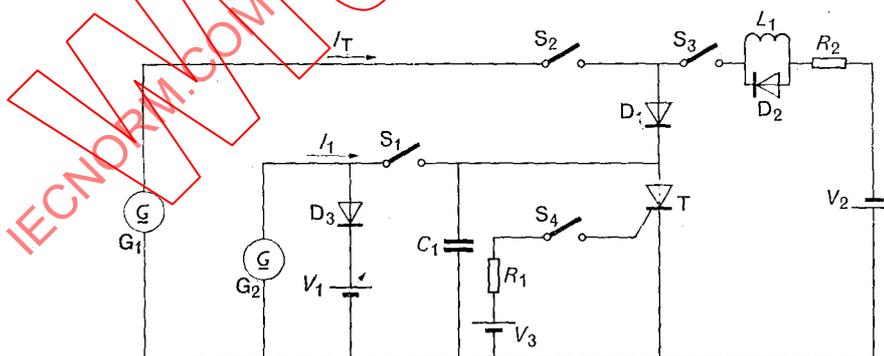


$I$  = thyristor anode current  
 $V$  = thyristor anode voltage  
 $I_{RM}$  = peak reverse current

FIG. 3. — Thyristor switching waveforms.

Operating principle

The basic circuit diagram in Figure 4 indicates the operating principles of a circuit used to generate the waveforms shown in Figure 3. For convenience, the circuit uses current generators and ideal switches.



$G_1$  = (on-state) constant current generator  
 $G_2$  = (variable rate of rise) constant current generator  
 $T$  = thyristor under test  
 $V_2$  = reverse voltage supply

FIG. 4. — Diagram of basic circuit.

Le circuit fonctionne comme suit:

- a) On ferme en même temps les interrupteurs  $S_2$  et  $S_4$ , ce qui provoque la commutation du thyristor à l'état passant et la conduction d'un courant spécifié  $I_T$ . On ouvre alors l'interrupteur  $S_4$  et le circuit de déclenchement est déconnecté du thyristor, sans qu'il y ait action sur le courant à l'état passant.
- b) Après un temps de conduction spécifié, on ferme l'interrupteur  $S_3$  et on applique au thyristor une tension inverse d'amplitude et de vitesse d'établissement spécifiées afin de provoquer une inversion du courant dans le thyristor.
- c) On ferme l'interrupteur  $S_1$  de façon à appliquer au thyristor une tension de blocage d'amplitude et de vitesse d'établissement spécifiées pour déterminer l'instant où le thyristor est capable de supporter la tension à l'état bloqué sans commuter à l'état passant. On répète la manœuvre des interrupteurs ( $S_3$  puis  $S_1$ ), en utilisant successivement des intervalles de temps plus courts, jusqu'à ce que l'intervalle de temps soit juste suffisant pour que la tension à l'état bloqué puisse être appliquée sans qu'il y ait retournement.

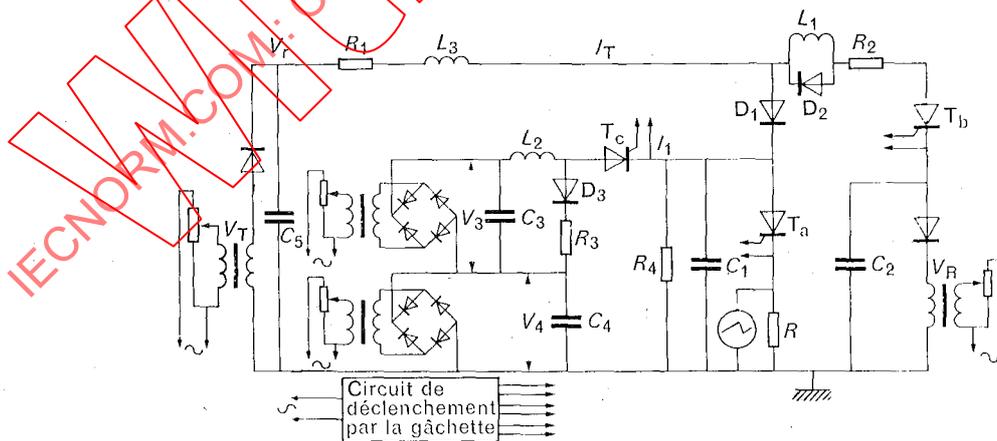
Dans le circuit, la diode  $D_1$  doit avoir un temps de recouvrement inverse plus grand que le temps de recouvrement inverse du thyristor, afin de faire apparaître la totalité de la tension inverse aux bornes du thyristor. On utilise la diode  $D_2$  pour empêcher l'apparition d'une tension transitoire à la commutation lorsque le thyristor commence à retrouver sa capacité de blocage en inverse.

On utilise la diode  $D_3$  en liaison avec la tension  $V_1$  pour limiter la tension de blocage. On utilise l'inductance  $L_1$  et la résistance  $R_2$  pour fixer la vitesse de variation du courant lors de la commutation à partir de l'état passant. Le courant  $I_1$  complète le recouvrement inverse de la diode  $D_1$  et charge alors le condensateur  $C_1$  linéairement en fonction du temps à une vitesse égale à  $I_1/C_1$ , de façon à obtenir la valeur voulue de la vitesse de croissance de la tension de blocage à la fin du cycle de commutation.

### 1.9.1 Première méthode

#### 1.9.1.1 Schéma du circuit

On effectue en général la mesure à l'aide d'un circuit qui fonctionne de façon répétitive à la fréquence du réseau; aussi est-il possible d'avoir une représentation continue sur l'oscilloscope. On indique sur la figure 5 un exemple de circuit de ce genre.



- $T_a$  = thyristor à mesurer
- $V_T$  = source de courant à l'état passant
- $V_1$  = alimentation à vitesse de croissance variable
- $V_R$  = source de tension inverse

FIG. 5. — Circuit pratique.

The operation of the circuit is as follows:

- a) Switches  $S_2$  and  $S_4$  are closed simultaneously causing the thyristor to switch to the on-state and conduct the specified current  $I_T$ . Switch  $S_4$  is then opened and the trigger circuit disconnected from the thyristor, the on-state current being unaffected.
- b) After the specified conduction time, switch  $S_3$  is closed and a reverse voltage of specified amplitude and rate of change is applied across the thyristor to cause current reversal through the thyristor.
- c) Switch  $S_1$  is closed so that blocking voltage of specified amplitude and rate of change is applied across the thyristor to determine when the thyristor is capable of blocking the off-state voltage without switching to the on-state. The switching sequence ( $S_3$  to  $S_1$ ) is repeated, using successively shorter time intervals, until the time interval is just long enough to allow the off-state voltage to be applied without breakover.

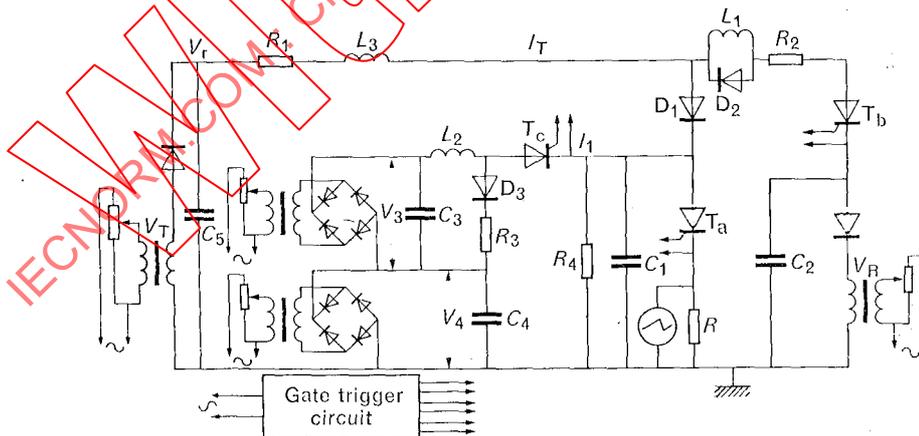
In the circuit, diode  $D_1$  must have a reverse recovery time longer than the reverse recovery time of the thyristor, so that the full reverse voltage cycle appears across the thyristor. Diode  $D_2$  is used to prevent a commutation voltage transient when the thyristor begins to recover its reverse blocking capability.

Diode  $D_3$  is used in conjunction with the voltage  $V_1$  to limit the blocking voltage. Inductor  $L_1$  and resistor  $R_2$  are used to determine the rate of current change during switching from the on-state. The current  $I_1$  completes the reverse recovery of diode  $D_1$  and then charges capacitor  $C_1$  linearly with time at a rate equal to  $I_1/C_1$ , producing the required rate of rise of blocking voltage at the end of the switching cycle.

### 1.9.1 First method

#### 1.9.1.1 Circuit diagram

The measurement is usually made in a circuit operating on a repetitive basis at commercial supply frequency, so that a continuous oscilloscope display is possible. Figure 5 shows an example of such a circuit.



- $T_a$  = thyristor being measured
- $V_T$  = on-state current source
- $V_r$  = variable rate of rise supply
- $V_R$  = reverse voltage source

FIG. 5. — Practical circuit.

### 1.9.1.2 Description du circuit et exigences

On obtient le courant à l'état passant  $I_T$  à l'aide de la charge du condensateur  $C_5$ , chargé à l'aide d'une source ajustable simple alternance. La constante de temps  $C_5 R_1$  doit être suffisamment grande pour que le courant spécifié à l'état passant soit pratiquement constant pendant la période de conduction spécifiée.  $L_3$  limite la vitesse de croissance du courant à l'état passant.

Le circuit employé dans la figure 5, page 14, pour engendrer la tension de blocage diffère de celui indiqué dans le circuit de principe de la figure 4, page 12. Lorsqu'on déclenche le thyristor  $T_c$ , la diode  $D_3$  est polarisée en inverse (à cause de la tension aux bornes du condensateur  $C_4$ ); le courant qui traverse l'inductance  $L_2$  traverse alors  $T_c$  et charge le condensateur  $C_1$  linéairement. L'inductance de  $L_2$  doit être suffisamment grande pour délivrer un courant constant jusqu'à ce que le condensateur  $C_1$  se soit chargé à une tension égale à la somme des tensions  $V_3$  et  $V_4$ .

A ce moment, la diode  $D_3$  commence à conduire et fixe la valeur de la tension à l'état bloqué appliquée au thyristor à mesurer. La résistance  $R_4$  sert à décharger le condensateur  $C_1$  pendant la période de conduction avant le cycle suivant de commutation. La résistance  $R_3$  sert à contrôler la valeur du courant constant dans  $L_2$  et dans  $D_3$ .

En outre, les considérations suivantes s'appliquent:

- a) La constante de temps  $R_1 C_5$  doit être suffisamment grande pour qu'un courant sensiblement constant soit fourni pendant la période de conduction. Pour des courants d'essai supérieurs à 100 A, on peut utiliser une ligne de transmission à constantes localisées convenablement définie ainsi qu'une vitesse de répétition réduite pour avoir une source plus pratique de courant de conduction.
- b) Le thyristor  $T_b$  ne doit pas se désamorcer jusqu'à ce que les charges de  $C_2$  et de  $C_5$  atteignent leur valeur d'équilibre. Ceci cause des pertes de puissance considérables dans  $R_1$  et dans  $R_2$ . On peut réduire ces pertes en ajoutant un circuit supplémentaire pour désamorcer le thyristor  $T_b$  après le déclenchement du thyristor  $T_c$ , ou en réduisant la vitesse de répétition de l'impulsion.
- c) La résistance  $R_4$  permet la décharge du condensateur  $C_1$ . Le courant passant dans  $R_4$  doit être inférieur au courant de maintien du thyristor  $T_c$ , de façon à ce que ce dernier puisse se désamorcer lorsque  $C_1$  s'est chargé.
- d) Les effets de la capacité répartie dans  $L_2$ , le recouvrement inverse des diodes  $D_1$  et  $D_3$  et l'inductance de câblage peuvent provoquer des oscillations parasites de la tension directe lorsqu'on l'applique à nouveau. On peut réduire ces effets en appliquant bien les règles de l'art, en particulier en utilisant des résistances d'amortissement convenables (qui ne sont pas indiquées dans la figure 5).
- e) Une bonne réalisation doit aussi permettre d'éviter le dépassement des valeurs limites des composants choisis.

### 1.9.1.3 Exécution

Le générateur de déclenchement par la gâchette est synchronisé avec la fréquence du réseau et donne des impulsions de déclenchement pendant la demi-période qui suit la charge des condensateurs  $C_5$  et  $C_2$ . On applique les impulsions de déclenchement au thyristor en essai  $T_a$ , aux thyristors  $T_b$  et  $T_c$ , dans cet ordre, afin de réaliser la fonction d'interrupteurs de  $S_4$ , de  $S_3$  et de  $S_1$  de la figure 4.

La période de conduction se termine lorsque l'impulsion de gâchette déclenche le thyristor  $T_b$ , permettant ainsi d'appliquer la tension inverse du condensateur  $C_2$  aux bornes du thyristor à mesurer par l'intermédiaire de la résistance  $R_2$ , de l'inductance  $L_1$  et de la diode  $D_1$ ; les fonctions et les exigences pour  $R_2$ ,  $L_1$  et  $D_1$  sont celles décrites dans le circuit de principe.

L'intervalle de temps de désamorçage se termine par l'application de l'impulsion de gâchette qui déclenche le thyristor  $T_c$ .

### 1.9.1.2 Circuit description and requirements

The on-state current  $I_T$  is obtained from the charge in capacitor  $C_5$  which is charged by means of an adjustable half-wave rectified supply. The time constant  $C_5R_1$  must be sufficiently large so that the specified on-state current is essentially constant over the specified conduction period.  $L_3$  limits the rate of rise of on-state current.

The circuit used in Figure 5, page 15, to generate the blocking voltage differs from that shown in the basic circuit in Figure 4, page 13. When thyristor  $T_c$  is triggered, diode  $D_3$  is reverse biased (because of the voltage on capacitor  $C_4$ ), causing the current through inductor  $L_2$  to be diverted through  $T_c$  to charge capacitor  $C_1$  at a linear rate. The inductance of  $L_2$  must be large enough to maintain constant current until capacitor  $C_1$  charges to a voltage equal to the sum of voltages  $V_3$  and  $V_4$ .

At this point, diode  $D_3$  starts to conduct and clamps the off-state voltage applied to the thyristor being measured. Resistor  $R_4$  is used to discharge capacitor  $C_1$  during the conduction period before the next switching cycle. Resistor  $R_3$  serves to control the value of the constant current through  $L_2$  and  $D_3$ .

In addition, the following considerations are applicable:

- a) The time constant  $R_1C_5$  must be large enough to maintain essentially constant current during the conduction period. For test currents above 100 A, a properly designed lumped constant transmission line and a reduced repetition rate may result in a more practical source of conduction current.
- b) Thyristor  $T_b$  does not turn-off until the charges on  $C_2$  and  $C_5$  reach equilibrium. This results in considerable power loss in  $R_1$  and  $R_2$ . This loss can be considerably reduced by adding additional circuitry for turning off thyristor  $T_b$  following the triggering of thyristor  $T_c$  or by reducing the pulse repetition rate.
- c) Resistor  $R_4$  provides a discharge path for capacitor  $C_1$ . The current drawn by  $R_4$  must be less than the holding current of thyristor  $T_c$  so that it may turn-off after  $C_1$  becomes charged.
- d) Effects of distributed capacitance in  $L_2$ , reverse recovery of diodes  $D_1$  and  $D_3$  and wiring inductance may cause undesirable oscillations in the re-applied forward voltage waveform. These effects can be minimized by good design practices including the use of suitable damping resistances (not included in Figure 5).
- e) Good design practice should be used to avoid exceeding ratings of the components selected.

### 1.9.1.3 Measurement procedure

The gate trigger generator is synchronised with the supply frequency and provides trigger pulses on the half-cycle following the charging of capacitors  $C_5$  and  $C_2$ . Trigger pulses are applied to the thyristor under test  $T_a$  and to thyristors  $T_b$  and  $T_c$ , in that order, to perform the switching functions of switches  $S_4$ ,  $S_3$  and  $S_1$  of Figure 4.

The conduction period is ended by the gate pulse which triggers thyristor  $T_b$ , allowing the reverse voltage of capacitor  $C_2$  to be applied through resistor  $R_2$ , inductor  $L_1$  and diode  $D_1$  across the thyristor being measured, the functions and requirements of  $R_2$ ,  $L_1$  and  $D_1$  being as described for the basic circuit.

The turn-off time interval is ended by the gate pulse which triggers thyristor  $T_c$ .

1.9.2 Autre méthode

1.9.2.1 Schéma du circuit

Une autre méthode pour mesurer le temps de désamorçage par commutation du circuit, spécialement pour les dispositifs à courant élevé, est indiquée par la figure 6. Les formes d'ondes du courant et de la tension dans le circuit de mesure sont données par les figures 7a-f, page 20.

1.9.2.2 Description du circuit et exigences

Le fonctionnement du circuit de la figure 6 est le suivant :

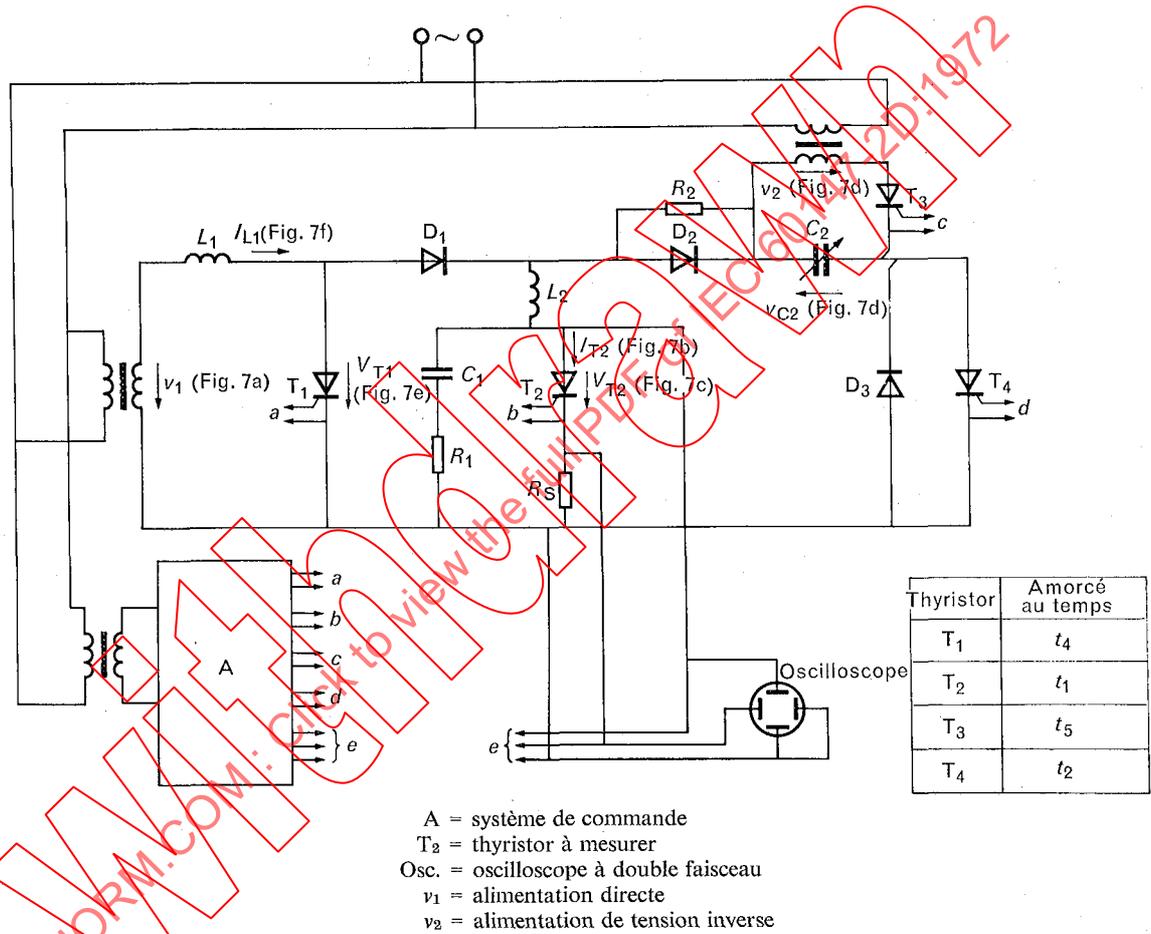


FIG. 6. — Circuit de mesure.

1.9.2 *Alternative method*

1.9.2.1 *Circuit diagram*

An alternative method to measure the circuit commutated turn-off time, especially for high current devices, is shown in Figure 6. The voltage and current waveforms in the measuring circuit are given in Figures 7a-f, page 21.

1.9.2.2 *Circuit description and requirements*

The operation of the circuit in Figure 6 is as follows:

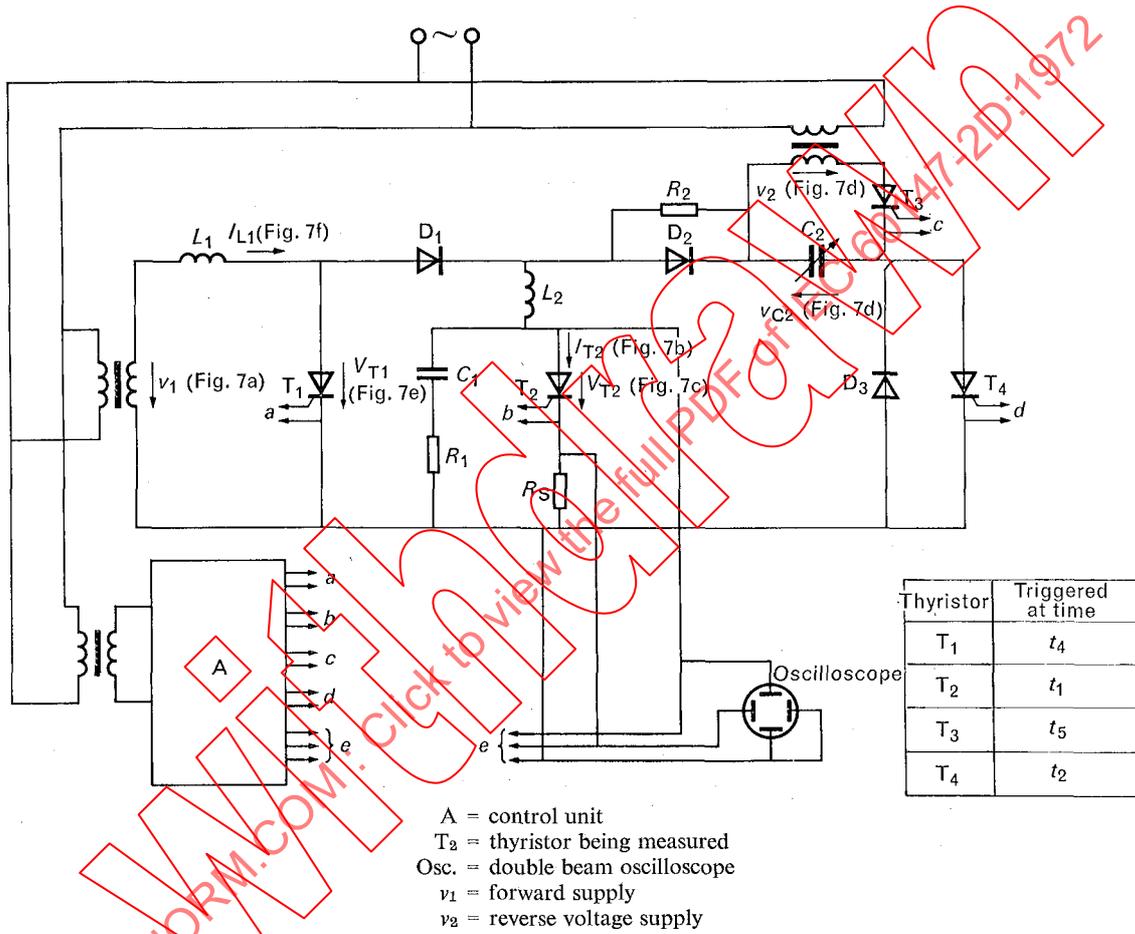
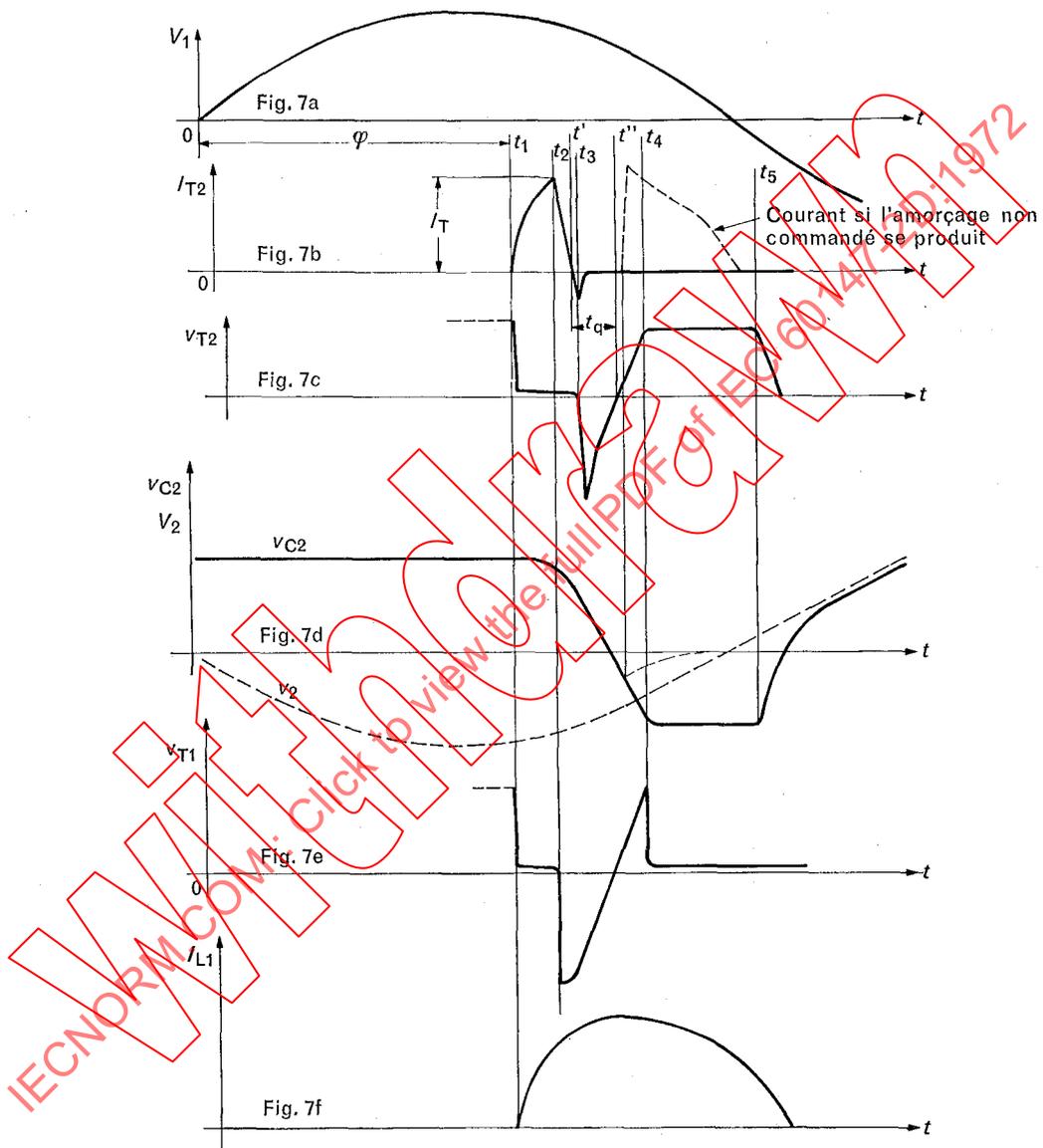
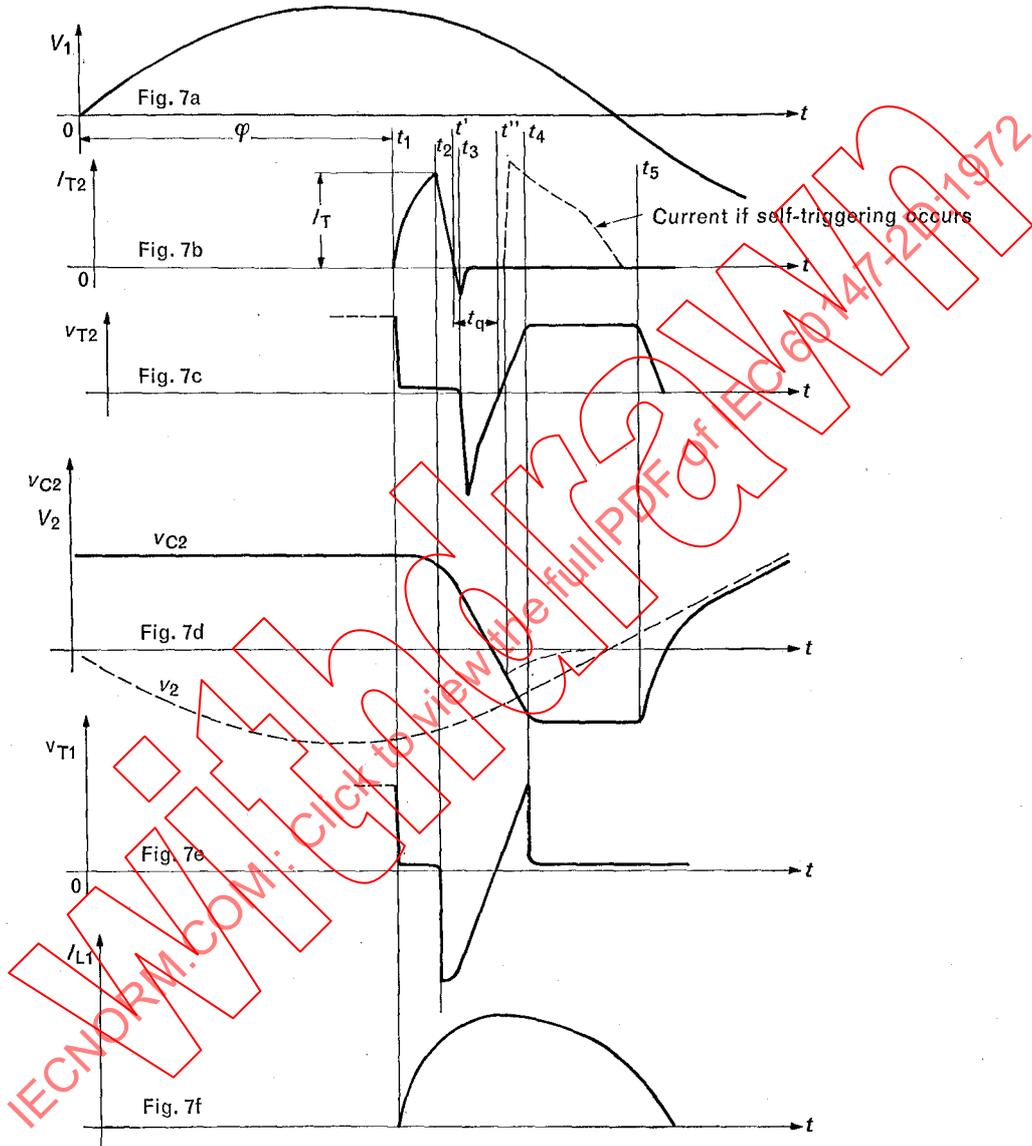


FIG. 6. — Measurement circuit.



FIGURES 7a-f.



FIGURES 7a-f.

Pendant la demi-période négative de la tension  $v_1$ , le condensateur  $C_2$  est chargé par la demi-période positive de la tension auxiliaire  $v_2$  à environ la valeur de pointe de  $v_2$  par l'intermédiaire du thyristor  $T_3$  qui, au temps  $t_5$  (voir figures 7a-f, page 20), est amorcé par le système de commande. Avant le commencement de la mesure,  $C_2$  doit être complètement chargé et le thyristor  $T_3$  doit être complètement bloqué.

La mesure commence quand le thyristor à mesurer  $T_2$  est amorcé par le système de commande au temps  $t_1$  (voir figures 7a-f), c'est-à-dire immédiatement après que la tension d'alimentation  $v_1$  a atteint sa valeur de pointe (angle de commande  $\varphi$  compris entre  $100^\circ$  et  $110^\circ$ ). Le courant  $i_{T_2}$  traversant le thyristor à mesurer (voir figure 7b) augmente avec une pente initiale déterminée par les inductances  $L_1$  et  $L_2$ . Le circuit parcouru par ce courant est formé par le transformateur  $L_1$ ,  $D_1$ ,  $L_2$ ,  $T_2$  et le retour au transformateur. Au temps  $t_2$  (réglable par le système de commande), le courant  $i_{T_2}$  atteint la valeur  $I_T$  spécifiée pour le thyristor à mesurer et, au même instant, le thyristor  $T_4$  est amorcé par le système de commande. Ainsi, le condensateur  $C_2$  se décharge à travers le circuit comprenant le thyristor  $T_4$ , la résistance de mesure  $R_S$ , le thyristor à mesurer  $T_2$ , l'inductance  $L_2$  et la diode  $D_2$  jusqu'à l'instant  $t_3$  (voir figure 7b) où le thyristor  $T_2$  est bloqué. La vitesse de décroissance de  $i_{T_2}$  est déterminée surtout par la valeur de  $L_2$ . La tension résiduelle du condensateur  $C_2$  agit à ce moment comme tension inverse pour le thyristor à mesurer. Cependant, à cause de l'effet d'accumulation des trous, la tension aux bornes de  $T_2$  est momentanément supérieure à la tension aux bornes du condensateur  $C_2$ . La tension transitoire qui en résulte est limitée en amplitude par le branchement en série du condensateur  $C_1$  et de la résistance  $R_1$  shuntant le thyristor à mesurer  $T_2$ .

Après l'instant  $t_3$ , le condensateur  $C_2$  est chargé avec une polarité de sens inverse, à travers le circuit comprenant le thyristor  $T_4$ , la source de tension  $v_1$ , l'inductance  $L_1$  et les diodes  $D_1$  et  $D_2$ . La croissance quasi linéaire de la tension aux bornes du condensateur  $C_2$  (et en conséquence également aux bornes du thyristor à mesurer) est due principalement à l'énergie magnétique accumulée dans l'inductance  $L_1$  (voir les figures 7c et 7d). Si la tension aux bornes du thyristor en essai  $T_2$  atteint la tension directe à l'état bloqué spécifiée (par exemple les deux tiers de la tension de pointe répétitive à l'état bloqué), le thyristor  $T_1$  est amorcé à l'instant  $t_4$ .

Ceci nécessite une construction appropriée du système de commande. Le courant circulant dans l'inductance  $L_1$  (et jusqu'à cet instant aussi dans le condensateur  $C_2$ ) passe dans le thyristor  $T_1$ . La charge de  $C_2$  est alors terminée (voir les figures 7d et 7e). La tension aux bornes du condensateur  $C_2$  agit par l'intermédiaire de la combinaison résistance-diode  $D_2$ ,  $R_2$  et de la diode  $D_3$  comme une tension de blocage quasi constante aux bornes du thyristor à mesurer  $T_2$ , jusqu'à l'instant  $t_5$  (voir figure 7d) où le thyristor de charge  $T_3$  est de nouveau amorcé par le système de commande. Le condensateur  $C_2$  est alors chargé dans la direction inverse par la source de tension  $v_2$  pour le cycle de mesure suivant.

Si le thyristor à essayer ne supporte pas l'application de la tension de blocage et en conséquence commute, le condensateur  $C_2$  se décharge dans le circuit constitué par la résistance  $R_2$  qui limite le courant, par le thyristor à essayer  $T_2$  et par la diode  $D_3$ . La diode  $D_2$  est en parallèle avec la résistance  $R_2$ , afin d'éviter un amortissement exagéré du circuit de charge du condensateur  $C_2$ .

*Note.* — On peut utiliser pour l'essai une onde de forme exponentielle, à condition d'indiquer le facteur de corrélation convenable avec la méthode d'essai normalisée.

On note que l'énergie emmagasinée dans l'inductance  $L_2$ , de même que la charge emmagasinée dans le condensateur  $C_1$ , peut provoquer une augmentation du temps de désamorçage en accroissant la charge dissipée lorsque le thyristor en essai est désamorcé.

### 1.9.2.3 Exigences relatives aux composants

Les inductances  $L_1$  et  $L_2$  et la capacité  $C_2$  sont déterminées par les formules suivantes:

During the negative half-cycle of the voltage  $v_1$ , the capacitor  $C_2$  is charged by the positive half-cycle of the auxiliary voltage  $v_2$  to approximately the peak value of  $v_2$  via thyristor  $T_3$  which, at time  $t_5$  (see Figures 7a-f, page 21), is switched on by the control unit. Before the start of the measuring process,  $C_2$  must be completely charged and thyristor  $T_3$  must be completely cut-off.

The measuring process starts when the thyristor being measured  $T_2$  is switched on by the control unit at time  $t_1$  (see Figures 7a-f), i.e. immediately after the supply voltage  $v_1$  reaches its peak value (control angle  $\varphi$  between  $100^\circ$  and  $110^\circ$ ). The current  $i_{T_2}$  through the thyristor being measured (see Figure 7b) increases with an initial slope determined by the inductances  $L_1$  and  $L_2$ . The circuit for this current flow consists of the transformer,  $L_1$ ,  $D_1$ ,  $L_2$ ,  $T_2$  and back to the transformer. At time  $t_2$  (adjustable by the control unit), the current  $i_{T_2}$  reaches the value  $I_T$  specified for the thyristor being measured and, at the same time, thyristor  $T_4$  is switched on by the control unit. Thus, the capacitor  $C_2$  discharges through the circuit consisting of thyristor  $T_4$ , measuring resistor  $R_S$ , thyristor being measured  $T_2$ , inductance  $L_2$  and diode  $D_2$ , until at time  $t_3$  (see Figure 7b) thyristor  $T_2$  is cut-off. The rate of fall of  $i_{T_2}$  is determined mainly by the value of  $L_2$ . The residual voltage of capacitor  $C_2$  acts at this time as reverse voltage for the thyristor being measured. However, due to the hole storage effect, the voltage across  $T_2$  is momentarily larger than the voltage across capacitor  $C_2$ . The resulting voltage transient is limited in amplitude by the series connection of capacitor  $C_1$  and resistor  $R_1$  shunting the thyristor being measured  $T_2$ .

After time  $t_3$ , the capacitor  $C_2$  is charged with opposite polarity through the circuit consisting of thyristor  $T_4$ , voltage source  $v_1$ , inductance  $L_1$  and diodes  $D_1$  and  $D_2$ . The almost linear rise of voltage across capacitor  $C_2$  (and therefore also across the thyristor being measured) is mainly due to the magnetic energy stored in inductance  $L_1$  (see Figures 7c and 7d). If the voltage across the thyristor under test  $T_2$  reaches the specified blocking voltage (e.g. two thirds of the repetitive peak off-state voltage), the thyristor  $T_1$  is switched on at time  $t_4$ .

This requires an appropriate design of the control unit. The current flowing through inductance  $L_1$  (and until that moment also through capacitor  $C_2$ ) is taken over by thyristor  $T_1$ . The charging of  $C_2$  is thus ended (see Figures 7d and 7e). The voltage of capacitor  $C_2$  acts via the resistor-diode combination  $D_2$ ,  $R_2$  and diode  $D_3$  as an almost constant blocking voltage across the thyristor under test  $T_2$ , until at time  $t_5$  (see Figure 7d), at which charging thyristor  $T_3$  is again switched on by the control unit. The capacitor  $C_2$  is then charged in the opposite direction from the voltage source  $v_2$  for the next measuring cycle.

If the thyristor under test does not withstand the applied blocking voltage and therefore switches on, the capacitor  $C_2$  discharges through the circuit consisting of current limiting resistor  $R_2$ , thyristor under test  $T_2$  and diode  $D_3$ . The resistor  $R_2$  is shunted by a diode  $D_2$ , in order to avoid an unacceptable damping of the charging circuit of capacitor  $C_2$ .

*Note.* – An exponential test waveform can be used as long as the proper correlating factor is established with the standard test method.

It should be noted that the energy stored in inductance  $L_2$ , as well as the charge stored in capacitor  $C_1$ , may cause an increase of the turn-off time by increasing the charge dissipated while the thyristor under test is switching off.

### 1.9.2.3 Components requirements

The inductances  $L_1$  and  $L_2$  and the capacitor  $C_2$  are determined by the following formulae:

$$C_2 \simeq I_T \frac{t_q}{\hat{V}_2}$$

$$L_1 > \hat{V}_2 \frac{t_q}{0,05 I_T}$$

$$L_2 = \hat{V}_2 \frac{\Delta t_f}{I_T}$$

où :

$t_q$  = temps de recouvrement du thyristor à mesurer

$I_T$  = courant spécifié dans le thyristor en essai avant l'application de la tension à l'état bloqué (voir figure 7b, page 20)

$\hat{V}_2$  = tension inverse de crête spécifiée

$\Delta t_f = t_3 - t_2$ , vitesse de décroissance du courant à l'état passant spécifiée (voir figure 7b)

En spécifiant les composants du circuit, on devra prendre en considération le fait que les thyristors  $T_1$  et  $T_4$  ainsi que les diodes  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  doivent avoir des valeurs limites de courant et de tension au moins égales à celles du thyristor à mesurer.

#### 1.9.2.4 Exécution

La mesure du temps de recouvrement par commutation du circuit est effectuée de la manière suivante :

En diminuant la valeur de la capacité  $C_2$ , la vitesse de croissance de la tension  $v_{T2}$  est augmentée et l'intervalle de temps  $t'' - t'$  diminué jusqu'à ce que le thyristor en essai commute. Le temps de désamorçage par commutation du circuit peut être alors déterminé sur l'oscilloscope comme étant la différence de temps minimale pour laquelle il n'y a pas amorçage entre les instants pour lesquels les valeurs de courant  $i_{T2}$  et de tension  $v_{T2}$  s'annulent (temps  $t'$  et  $t''$  respectivement) (voir figures 7b et 7c, page 20).

Le temps de désamorçage par commutation du circuit peut aussi être obtenu en utilisant un oscilloscope à faisceau unique et en mesurant seulement le temps compris entre le premier et le second passage à zéro ( $t'' - t_3$ ) de la tension  $v_{T2}$ . La différence de temps entre le passage à zéro du courant  $i_{T2}$  et le premier passage à zéro de la tension  $v_{T2}$ , ( $t_3 - t'$ ), peut être déterminée soit par le calcul, soit en mesurant des valeurs moyennes.

Le temps de désamorçage par commutation du circuit est alors la somme de ces deux différences de temps.

L'avantage de cette méthode est que la résistance  $R_s$  peut être omise.

*Conditions spécifiées (valables pour les deux méthodes)*

On doit spécifier les conditions suivantes :

- a) Amplitude et vitesse de décroissance du courant à l'état passant.
- b) Amplitude de la tension inverse appliquée pendant l'intervalle de temps de désamorçage.
- c) Amplitude et vitesse de croissance de la tension à l'état bloqué quand on la réapplique.
- d) Conditions de polarisation de gâchette.
- e) Température ambiante, ou température de boîtier, ou température d'un point de référence.

$$C_2 \simeq I_T \frac{t_q}{\hat{V}_2}$$

$$L_1 > \hat{V}_2 \frac{t_q}{0.05 I_T}$$

$$L_2 = \hat{V}_2 \frac{\Delta t_f}{I_T}$$

where:

$t_q$  = turn-off time of the thyristor being measured

$I_T$  = specified current through the thyristor under test before applying the off-state voltage (see Figure 7b, page 21)

$\hat{V}_2$  = specified peak reverse voltage

$\Delta t_f = t_3 - t_2$ , specified time of fall of the on-state current (see Figure 7b)

When specifying the circuit components, it should be taken into consideration that the thyristors  $T_1$  and  $T_4$  together with the diodes  $D_1$ ,  $D_2$  and  $D_3$  must have rated values of current and voltage at least equal to those of the thyristor under test.

#### 1.9.2.4 Measurement procedure

The measurement of the circuit commutated turn-off time is made in the following manner:

By decreasing the value of capacitance  $C_2$ , the rate of rise of the voltage  $v_{T2}$  is increased and the time interval  $t'' - t'$  shortened until the thyristor under test is switched on. The circuit commutated turn-off time can then be determined on the oscilloscope as the minimum time difference for which no switch-on occurs between the instants at which the values of current  $i_{T2}$  and of the voltage  $v_{T2}$  pass through zero (respectively  $t'$  and  $t''$ ) (see Figures 7b and 7c, page 21).

The circuit commutated turn-off time may also be obtained using a single trace oscilloscope by measuring only the time difference between successive instants at which the voltage  $v_{T2}$  passes through zero ( $t'' - t_3$ ). The time difference between the initial instants when  $v_{T2}$  passes through zero and the instants at which  $i_{T2}$  passes through zero ( $t_3 - t'$ ) can be determined either by calculation or by measuring average values.

The circuit commutated turn-off time is then the sum of these two time differences.

This method has the advantage that the current measuring resistor  $R_s$  may be omitted.

#### *Specified conditions (for both alternative methods)*

The following conditions should be specified:

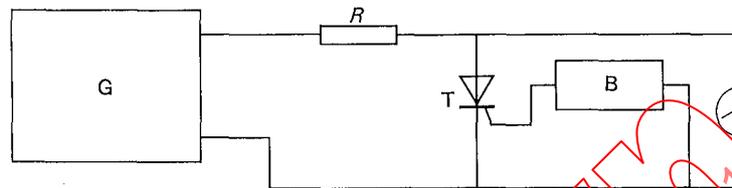
- a) The magnitude and rate of fall of the on-state current.
- b) The magnitude of the reverse voltage applied during the turn-off interval.
- c) The magnitude and rate of rise of the re-applied off-state voltage.
- d) The gate bias conditions.
- e) Ambient, case or reference point temperature.

### 1.10 Vitesse critique de croissance de la tension à l'état bloqué

On fait la mesure avec une tension appliquée d'anode ou principale et on augmente la vitesse de croissance jusqu'à ce que le thyristor commute de l'état bloqué à l'état passant. La forme d'onde de la tension appliquée peut être soit linéaire, soit exponentielle.

#### 1.10.1 Méthode de la vitesse de croissance linéaire

La figure 8 indique un dispositif de mesure.



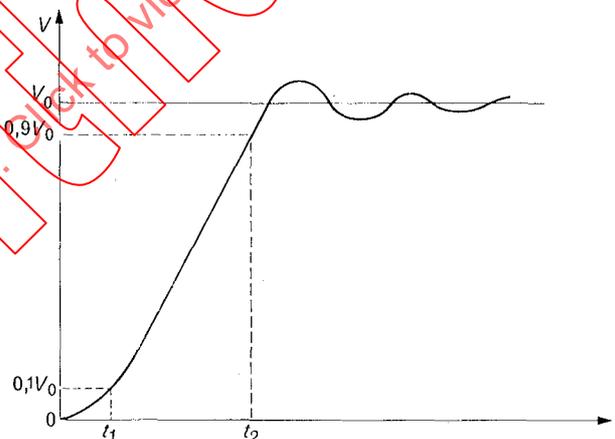
G = générateur à forme d'onde linéaire  
B = polarisation de gâchette

FIG. 8. — Schéma de mesure.

La résistance  $R$  est une résistance limitant le courant, destinée à éviter que le thyristor en essai ne soit endommagé.

Le générateur d'impulsions doit fournir une onde linéaire d'amplitude spécifiée avec une vitesse de croissance linéaire et ajustable de la tension. La largeur de l'impulsion doit être au moins égale à cinq fois le temps de croissance total de l'impulsion. La valeur de la polarisation de gâchette doit être spécifiée.

La vitesse de croissance de la tension sera augmentée et la valeur la plus basse qui fait commuter le thyristor de l'état bloqué à l'état passant est la vitesse critique de croissance.



$V_0$  = grandeur de la tension d'essai

FIG. 9. — Forme d'onde de la tension d'essai.

- La valeur instantanée de la tension d'essai entre 10% de  $V_0$  et 90% de  $V_0$  ne doit pas varier de plus de  $\pm 10\%$  par rapport à la valeur correspondante de la droite reliant les points 10% à 90% de  $V_0$ .
- La pente instantanée de la tension d'essai entre 10% de  $V_0$  et 90% de  $V_0$  ne doit pas varier de plus de  $\pm 100\%$  de la pente de la droite joignant les points 10% à 90% de  $V_0$ .