

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
747-6

1983

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1991-08

Amendement 1

Dispositifs à semiconducteurs
Dispositifs discrets et circuits intégrés

Sixième partie:
Thyristors

Amendment 1

Semiconductor devices
Discrete devices and integrated circuits

Part 6:
Thyristors

© CEI 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le Comité d'Etudes n° 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote
47(BC)883	47(BC)926
47(BC)891	47(BC)934
47(BC)892	47(BC)935
47(BC)952	47(BC)992
47(BC)962	47(BC)997
47(BC)978	47(BC)1023
47(BC)1075	47(BC)1171
47(BC)1077	47(BC)1132
47(BC)1096	47(BC)1254

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cet amendement.

Page 4

SOMMAIRE

CHAPITRE IV: MÉTHODES DE MESURE

Remplacer le paragraphe 1.13 existant par le nouveau paragraphe suivant:

1.13 Charge recouvrée et temps de recouvrement inverse (Q_r , t_{rr})

Ajouter les nouveaux paragraphes suivants:

1.14 Temps de désamorçage après commutation (t_q) du circuit d'un thyristor passant en inverse

3.6 Valeur limite et méthode d'essai pour «courant de pointe pour non-rupture du boîtier»

Ajouter, après l'annexe existante, la nouvelle annexe suivante:

Annexe B

FOREWORD

This amendment has been prepared by IEC Technical Committee No. 47: Semiconductor devices.

The text of this amendment is based on the following documents:

Six Months' Rule	Reports on Voting
47(CO)883	47(CO)926
47(CO)891	47(CO)934
47(CO)892	47(CO)935
47(CO)952	47(CO)992
47(CO)962	47(CO)997
47(CO)978	47(CO)1023
47(CO)1075	47(CO)1171
47(CO)1077	47(CO)1132
47(CO)1096	47(CO)1254

Full information on the voting for the approval of this amendment can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

Page 5

CONTENTS

CHAPTER IV: METHODS OF MEASUREMENT

Replace the existing subclause 1.13 by the following new subclause:

1.13 Recovered charge and reverse recovery time (Q_r , t_{rr})

Add the following new subclauses:

1.14 Circuit commutated turn-off time (t_q) of a reverse conducting thyristor

3.6 Rating and test method for "peak case non-rupture current"

Add, after the existing appendix, the following new appendix:

Appendix B

CHAPITRE II: TERMINOLOGIE ET SYMBOLES LITTÉRAUX

Après le paragraphe 1.2, ajouter le nouveau paragraphe suivant:

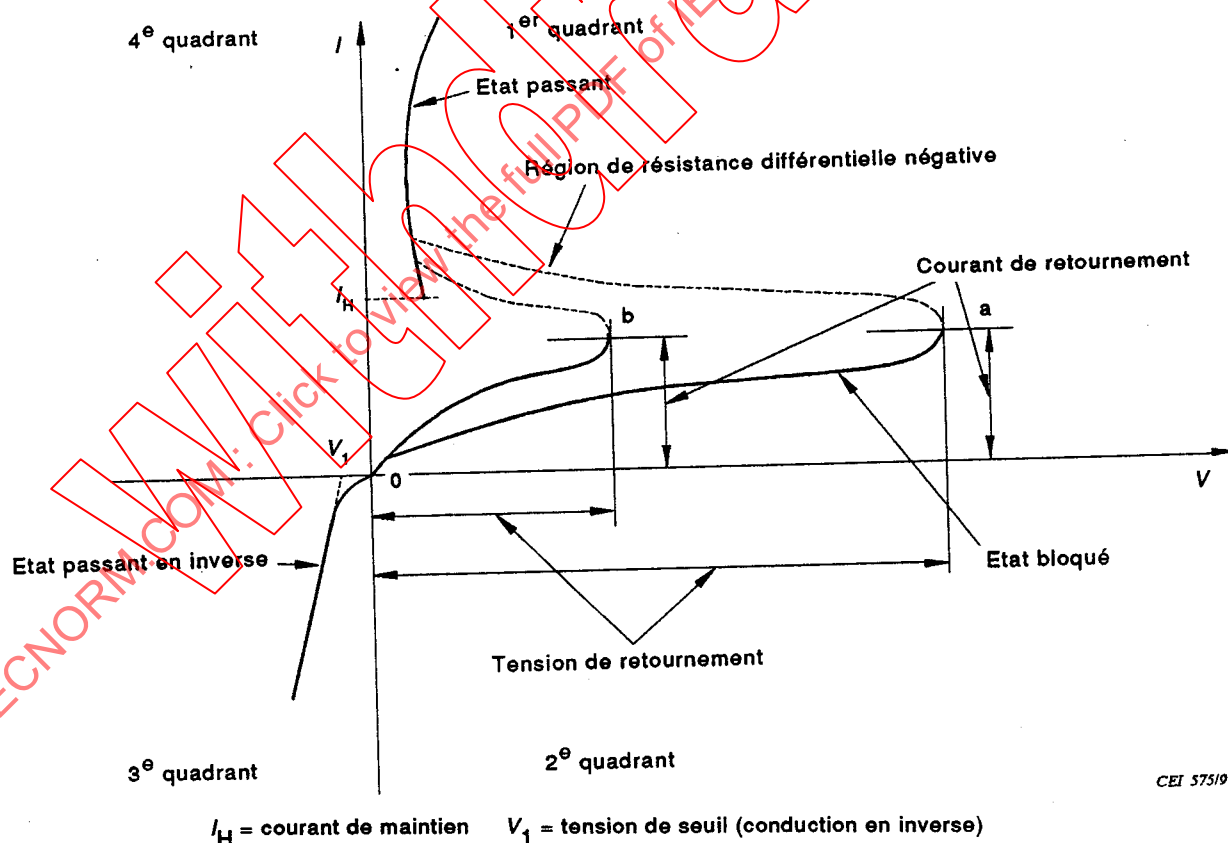
1.2.1 Thyristor asymétrique

Thyristor triode bloqué en inverse dont la tension inverse a une valeur limite nettement inférieure à celle de la tension à l'état bloqué.

Après le paragraphe 2.16, ajouter les nouveaux paragraphes suivants:

2.17 Thyristors triodes passant en inverse

2.17.1



Note. – La courbe a correspond à un courant de gâchette nul.

La courbe b correspond à la présence d'un courant de gâchette.

Figure 69 – Caractéristique tension-courant d'anode-cathode pour les thyristors triodes passant en inverse

CHAPTER II: TERMINOLOGY AND LETTER SYMBOLS

After subclause 1.2, add the following new subclause:

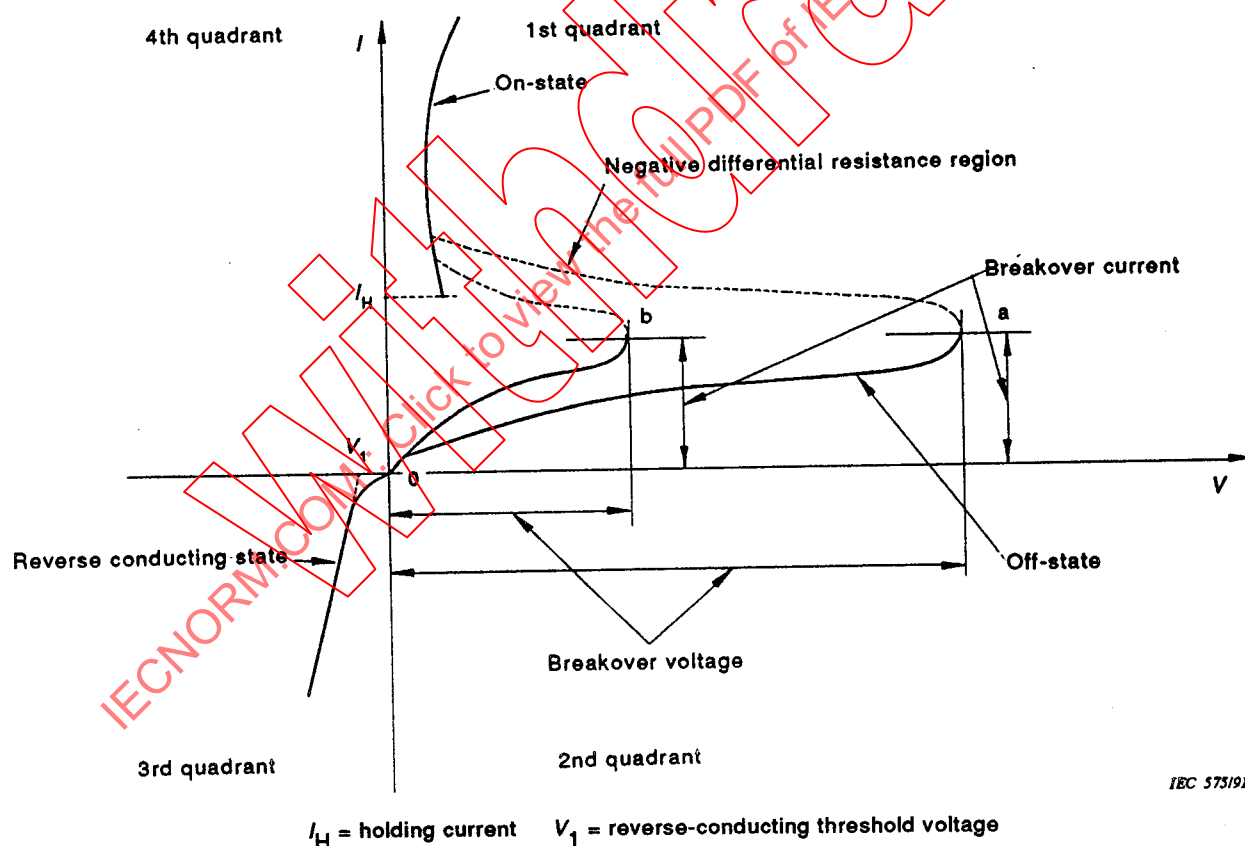
1.2.1 Asymmetrical thyristor

A reverse blocking triode thyristor whose rated reverse voltage is significantly lower than its rated off-state voltage.

After subclause 2.16, add the following new subclauses:

2.17 Reverse-conducting triode thyristors

2.17.1



Note. – Curve a corresponds to zero gate current.

Curve b, is with gate current present.

Figure 69 – Anode-cathode voltage-current characteristic for reverse-conducting triode thyristors

2.17.2 *Etat passant en inverse*

Etat d'un thyristor triode passant en inverse correspondant à la partie du troisième quadrant de la caractéristique anode-cathode.

2.18 *Courant passant en inverse*

Courant qui circule dans un thyristor passant en inverse lorsqu'on applique une tension négative entre l'anode et la cathode.

2.19 *Courant moyen passant en inverse*

Valeur moyenne du courant passant en inverse calculée sur une période complète.

2.20 *Courant de surcharge prévisible passant en inverse*

Courant passant en inverse dont l'application permanente causerait un dépassement de la valeur limite maximale de la température virtuelle de jonction, mais qui est limité dans le temps de manière que cette température ne soit pas dépassée.

Note.— Les dispositifs peuvent être soumis à des courants de surcharge prévisible passant en inverse aussi fréquemment que l'application le demande, tout en étant soumis également à des tensions de fonctionnement normales.

2.21 *Courant de surcharge accidentelle passant en inverse*

Courant passant en inverse dont l'application permanente causerait un dépassement de la valeur limite maximale de la température virtuelle de jonction, mais que l'on suppose ne se produire que rarement, avec un nombre limité de fois durant la vie du dispositif, et qui est la conséquence de conditions inhabituelles dans le circuit (par exemple, un défaut).

2.22 *Tension de seuil (cas de l'état passant en inverse)*

Valeur de la tension inverse obtenue au point de rencontre, avec l'axe des tensions, de la droite représentant approximativement la caractéristique à l'état passant en inverse.

2.23 *Résistance apparente à l'état passant en inverse*

Valeur de résistance calculée à partir de la pente de la droite représentant approximativement la caractéristique à l'état passant en inverse.

2.24 *Dissipation de puissance (cas de l'état passant en inverse)*

Dissipation de puissance due au passage du courant passant en inverse.

2.25 *Résistance thermique dans le cas de courant à l'état passant (pour un thyristor triode passant en inverse)*

Quotient de la différence de température entre deux points ou deux régions spécifiées, par la dissipation de puissance due au courant à l'état passant, dans des conditions d'équilibre thermique (voir la note du paragraphe 2.26).

2.17.2 *Reverse-conducting state*

The condition of a reverse-conducting triode thyristor corresponding to the third quadrant portion of the anode-cathode characteristic.

2.18 *Reverse-conducting current*

The current that flows through a reverse-conducting thyristor when negative anode-to-cathode voltage is applied.

2.19 *Mean reverse-conducting current*

The mean value of the reverse-conducting current averaged over a full cycle.

2.20 *Overload reverse-conducting current*

The reverse-conducting current, whose continuous application would cause the maximum-rated virtual junction temperature to be exceeded, but that is limited in time such that this temperature is not exceeded.

Note.— Devices may be subjected to overload reverse-conducting currents as frequently as called for by the application, while being subjected to normal operating voltages.

2.21 *Surge reverse-conducting current*

The reverse-conducting current, whose continuous application would cause the maximum-rated virtual junction temperature to be exceeded, but that is assumed to occur rarely and with a limited number of such occurrences during the service life of the device and to be a consequence of unusual circuit conditions (for example, a fault).

2.22 *Reverse-conducting threshold voltage*

The value of the reverse voltage obtained at the intersection of the straight line approximation of the reverse-conducting characteristic with the voltage axis.

2.23 *Reverse-conducting slope resistance*

The value of the resistance calculated from the slope of the straight line approximation of the reverse-conducting characteristic.

2.24 *Reverse-conducting power dissipation*

The power dissipation resulting from the flow of the reverse-conducting current.

2.25 *Thermal resistance for on-state current* (for a reverse conducting triode thyristor)

The temperature difference between two specified points or regions divided by the power dissipation caused by on-state current, under conditions of thermal equilibrium (see note of subclause 2.26).

2.26 Résistance thermique dans le cas de courant passant en inverse

Quotient de la différence de température entre deux points ou deux régions spécifiées, par la dissipation de puissance due au courant passant en inverse, dans des conditions d'équilibre thermique (voir la note).

Note.— Dans le cas d'un thyristor passant en inverse, la température de jonction varie à l'intérieur de la pastille de silicium, car la dissipation de puissance due au courant à l'état passant (P_T) et celle due au courant passant en inverse (P_{RC}) ont lieu à des emplacements différents. (Voir annexe B.)

Page 24

Ajouter, après le paragraphe 3.2.15, page 24, les nouveaux paragraphes suivants:

3.2.16 Courant de pointe pour non-rupture du boîtier

Valeur de pointe du courant que l'on ne doit pas dépasser, afin d'éviter l'explosion du boîtier ou l'émission d'un jet de plasma, dans des conditions spécifiées de courant, de forme d'onde et de temps.

Note.— Cette définition implique qu'une fine craquelure peut exister dans le boîtier pour un dispositif soumis au courant de pointe pour non-rupture de boîtier, pourvu qu'aucun jet de plasma n'ait été émis. Il ne doit pas y avoir séparation de parties du dispositif, et celui-ci ne doit ni fondre extérieurement ni s'embraser.

3.2.17 Pt de non-rupture du boîtier

Valeur de Pt que l'on ne doit pas dépasser, afin d'éviter l'explosion du boîtier ou l'émission d'un jet de plasma, dans des conditions spécifiées de courant, de forme d'onde et de temps, indiquées comme suit:

$$Pt = \int_0^{t_w} P dt$$

où t_w est la durée de l'impulsion de courant.

Note.— Cette définition implique qu'une fine craquelure peut exister dans un dispositif soumis au Pt de non-rupture du boîtier, pourvu qu'aucun jet de plasma ne soit émis. Il ne doit y avoir de projection d'aucune partie du boîtier, et celui-ci ne doit ni fondre extérieurement ni s'embraser.

Page 30

Remplacer les paragraphes 3.5.7, 3.5.8, 3.5.16, 3.5.18 et 3.5.19 par les nouveaux paragraphes suivants:

3.5.7 Temps de désamorçage après commutation du circuit (t_q)

Intervalle de temps minimal entre l'instant où le courant à l'état passant est devenu nul, après commutation extérieure du circuit de tension d'anode, et l'instant le plus rapproché où la tension d'anode spécifiée que le thyristor est susceptible de supporter sans se réamorcer passe par la valeur zéro (comme indiqué dans la figure 70).

2.26 Thermal resistance for reverse-conducting current

The temperature difference between two specified points or regions divided by the power dissipation caused by reverse-conducting current, under conditions of thermal equilibrium (see note).

Note.— In the case of the reverse-conducting thyristor, junction temperature varies within the silicon chip, because power dissipation due to on-state current (P_T) and that due to reverse-conducting current (P_{RC}) occurs in different places. (See Appendix B.)

Page 25

Add, after subclause 3.2.15, page 25, the following new subclauses:

3.2.16 Peak case non-rupture current

The peak value of current that should not be exceeded in order to avoid bursting of the case or the emission of a plasma beam, under specified conditions of current, wave-shape and time.

Note.— This definition implies that a fine crack in the case might be found in a device subjected to the peak case non-rupture current, provided that no plasma beam was emitted. Parts of the case should not break away, nor should the device melt externally or burst into flames.

3.2.17 Case non-rupture Pt

The value of Pt that should not be exceeded in order to avoid bursting of the case or the emission of a plasma beam, under specified conditions of current, wave-shape and time, given as follows:

$$Pt = \int_0^{t_w} P dt$$

where t_w is the current pulse duration.

Note.— This definition implies that a fine crack in the case might be found in a device subjected to the case non-rupture Pt , provided no plasma was emitted. Parts of the case should not break away, nor should the device melt externally or burst into flames.

Page 31

Replace subclauses 3.5.7, 3.5.8, 3.5.16, 3.5.18 and 3.5.19 by the following subclauses:

3.5.7 Circuit commutated turn-off time (t_q)

The minimum time interval between the instant when the on-state current has decreased to zero after external switching of the anode voltage circuit, and the earliest instant when the specified anode voltage, which the thyristor is capable of supporting without turning on, passes through zero (as shown in figure 70).

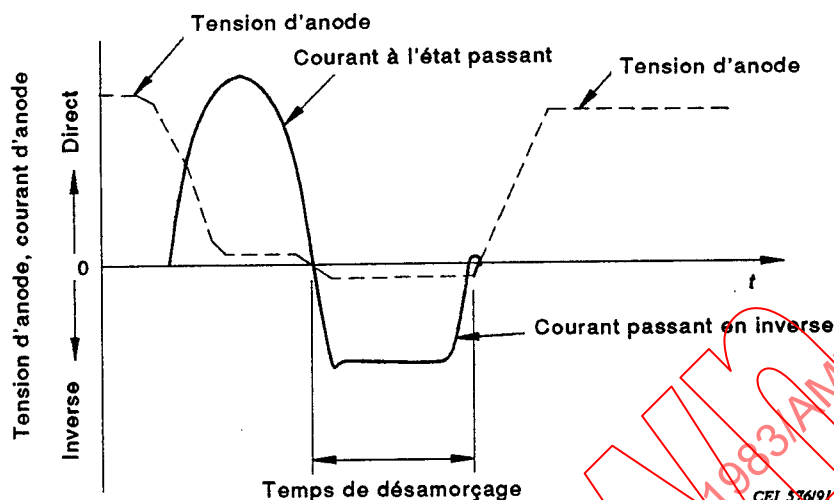


Figure 70 – Temps de désamorçage après commutation du circuit

Page 32

3.5.8 Temps de recouvrement à l'état bloqué (d'un thyristor passant en inverse)

Intervalle de temps entre l'instant où le courant s'annule lors du passage de l'état passant en inverse à une condition à l'état bloqué, et l'instant où le courant à l'état bloqué est réduit après avoir atteint sa valeur de pointe I_{DM} à une faible valeur spécifiée (comme indiqué dans la figure 5) ou lorsque la valeur obtenue par extrapolation du courant à l'état bloqué atteint la valeur zéro (comme indiqué dans la figure 6).

Note.- L'extrapolation s'effectue entre deux points spécifiés A et B, comme il est indiqué dans la figure 6.

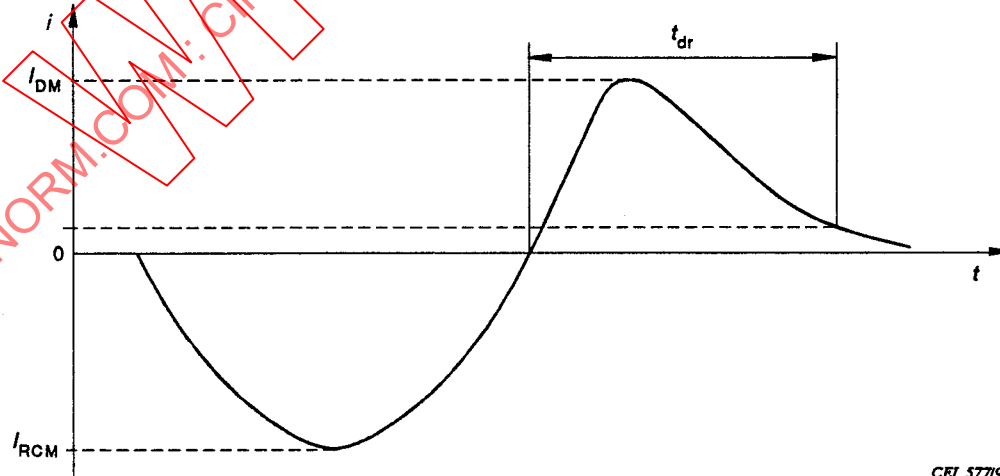


Figure 5 – Formes d'onde du courant

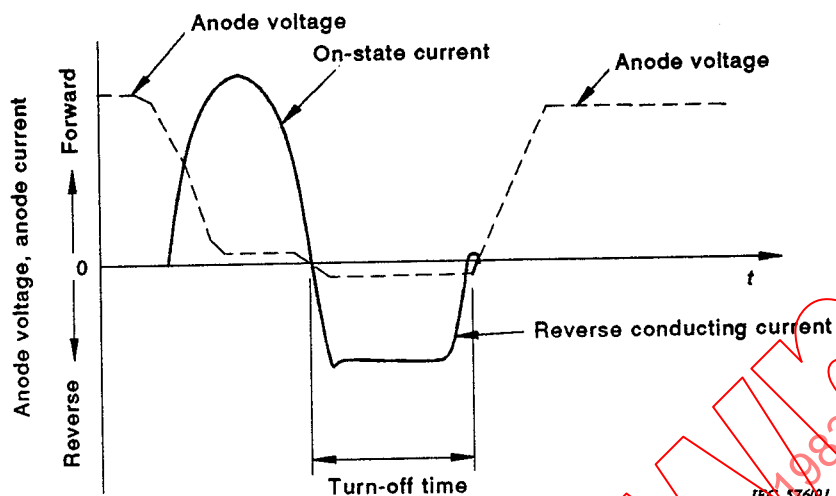


Figure 70 – Circuit commutated turn-off time

Page 33

3.5.8 Off-state recovery time (of a reverse-conducting thyristor)

The time interval between the instant when the current passes through zero, when changing from the reverse-conducting state to the off-state condition, and the instant when the off-state current is reduced from its peak value I_{DM} to a specified low value (as shown in figure 5) or when the extrapolated off-state current reaches zero (as shown in figure 6).

Note.— The extrapolation is carried out with respect to specified points A and B as shown in generalized form in figure 6.

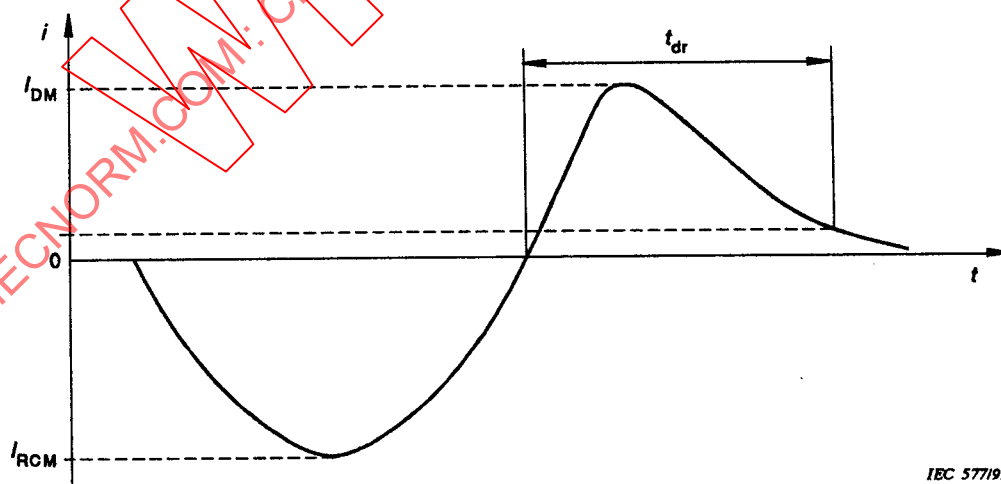


Figure 5 – Current waveforms

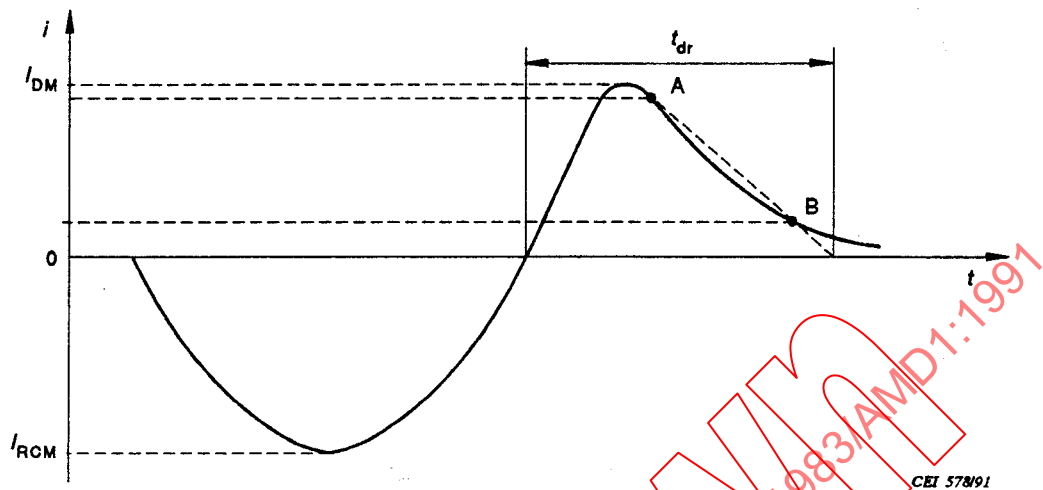


Figure 6 – Formes d'onde du courant

Page 36

3.5.16 Vitesse critique de croissance de la tension de commutation (pour un thyristor passant en inverse)

La plus forte valeur de la vitesse de croissance de la tension principale, immédiatement après conduction du courant passant en inverse, qui ne provoque pas la commutation de l'état bloqué à l'état passant.

3.5.18 Charge recouvrée (Q_r)

Charge totale recouvrée dans le thyristor pendant un temps d'intégration spécifié après commutation d'une condition de courant à l'état passant spécifiée à une condition inverse spécifiée.

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} i_R \cdot dt$$

où:

t_0 est l'instant où le courant passe par la valeur zéro et

t_i est le temps d'intégration spécifié (voir la figure 71).

Note.— Cette charge inclut les composantes dues aux porteurs de charge stockée et à la capacité de la couche diélectrique.

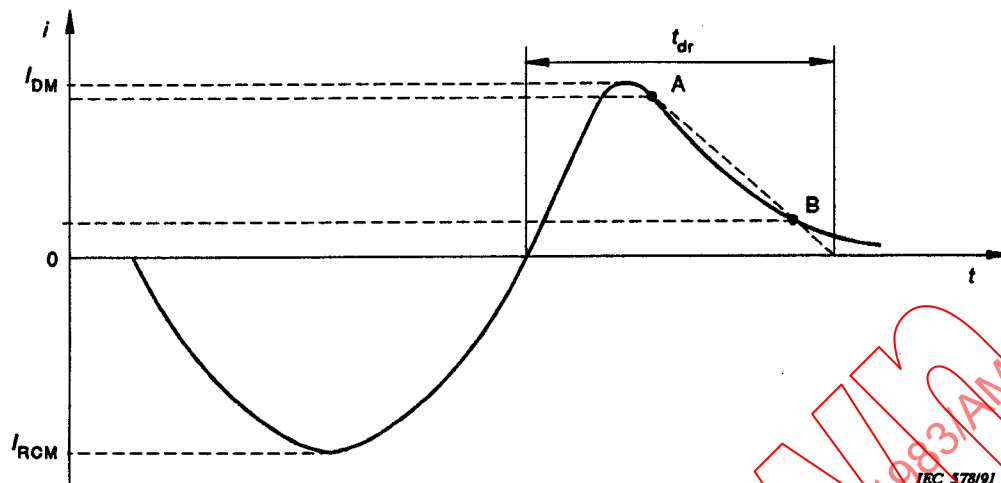


Figure 6 – Current waveforms

Page 37

3.5.16 Critical rate of rise of commutating voltage (of a reverse-conducting thyristor)

The highest value of the rate of rise of principal voltage, immediately following reverse-conducting current conduction, that will not cause switching from the off-state to the on-state.

3.5.18 Recovered charge (Q_r)

The total charge recovered from the thyristor during a specified integration time after switching from a specified on-state current condition to a specified reverse condition:

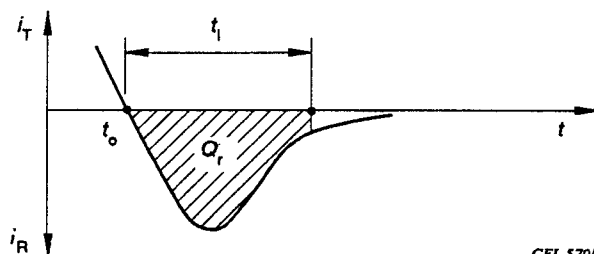
$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} i_R \cdot dt$$

where:

t_0 is the instant when the current passes through zero, and

t_i is the specified integration time (see figure 71).

Note.— This charge includes components due to both carrier storage and depletion layer capacitance.



CEI 579/91

Figure 71 – Charge recouvrée

3.5.19 Charge recouvrée à l'état bloqué (d'un thyristor passant en inverse)

Charge totale recouvrée par le thyristor après commutation d'une condition spécifiée de courant passant en inverse à une condition spécifiée à l'état bloqué.

Paragraphe 4.2.1

Ajouter, dans le paragraphe, l'indice suivant:

RC = état passant en inverse (pour les thyristors triodes passant en inverse)

Page 40

Paragraphe 4.3.1

Ajouter le symbole littéral suivant:

Tension de seuil (cas de l'état passant en inverse) $V_{RC(TO)}$

Page 42

Paragraphe 4.3.2

Ajouter les symboles littéraux suivants:

Courant continu passant en inverse	I_{RC}
Courant moyen passant en inverse	$I_{RC(AV)}$
Courant de pointe passant en inverse	I_{RCM}
Courant de surcharge prévisible passant en inverse	$I_{RC(OV)}$
Courant de surcharge accidentelle passant en inverse	$I_{RC(SM)}$

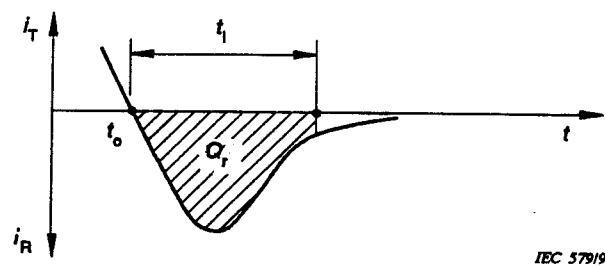


Figure 71 – Recovered charge

3.5.19 Off-state recovered charge (of a reverse-conducting thyristor)

The total charge recovered from the thyristor after switching from a specified reverse-conducting current condition to a specified off-state condition.

Subclause 4.2.1

Add, in this subclause, the following subscript:

RC = reverse conducting state (for reverse-conducting triode thyristors)

Page 41

Subclause 4.3.1

Add the following letter symbol:

Reverse conducting threshold voltage $V_{RC(TO)}$

Page 43

Subclause 4.3.2

Add the following letter symbols:

Continuous reverse-conducting current	I_{RC}
Mean reverse-conducting current	$I_{RC(AV)}$
Peak reverse-conducting current	I_{RCM}
Overload reverse-conducting current	$I_{RC(OV)}$
Surge reverse-conducting current	I_{RCSM}

Page 46

Paragraphe 4.3.6

Ajouter les symboles littéraux suivants:

Résistance apparente à l'état passant en inverse r_{RC}
 Résistance thermique (dans le cas de courant à l'état passant) $R_{th(T)}$
 Résistance thermique (dans le cas de courant passant en inverse) $R_{th(RC)}$

Paragraphe 4.3.7

Ajouter le symbole littéral suivant:

Dissipation de puissance (cas de l'état passant en inverse) P_{RC}

Page 48

CHAPITRE III: VALEURS LIMITES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES

SECTION UN – THYRISTORS TRIODES BLOQUÉS EN INVERSE

Page 62

Après le paragraphe 3.3.9, ajouter le nouveau paragraphe suivant:

3.3.10 Courant de pointe pour non-rupture du boîtier

La valeur limite pour «courant de pointe pour non-rupture du boîtier» doit être spécifiée, s'il y a lieu, comme la valeur maximale d'un courant triangulaire augmentant à une vitesse déterminée, de préférence 25 A/μs, et ayant une durée d'impulsion spécifiée pour une température de boîtier au départ à spécifier, de préférence 25 °C.

Note.– Il est nécessaire de connaître le «courant de pointe pour non-rupture du boîtier» des diodes de redressement et des thyristors à courant élevé (valeurs limites du courant moyen égales ou supérieures à 1 000 A), utilisés dans les installations importantes de convertisseurs (en général, on connecte en parallèle plusieurs dispositifs) car, si un dispositif n'arrive pas à bloquer la tension inverse, il s'ensuit un courant de court-circuit très brusque et de valeur élevée qui peut amener la rupture du boîtier et endommager l'équipement avant qu'un fusible ait eu le temps de le protéger.

En conséquence, la détermination ou la vérification de cette valeur limite nécessite d'avoir une installation d'essais de forte puissance; les coûts de l'essai lui-même et des échantillons détruits sont considérables et ne se justifient que si le danger ci-dessus signalé existe réellement.

La valeur du courant de pointe pour non-rupture du boîtier dépend énormément de l'emplacement du claquage initial sur la pastille de silicium; elle est généralement plus faible si le claquage a lieu près des bords.

Page 98

CHAPITRE IV: MÉTHODES DE MESURE

Remplacer, à la page 158, le paragraphe 1.13 par les nouveaux paragraphes suivants:

1.13 Charge recouvrée et temps de recouvrement inverse (Q_r , t_{rr})

1.13.1 Méthode en onde demi-sinusoïdale

a) But

Mesurer la charge recouvrée Q_r et le temps de recouvrement inverse t_{rr} d'un thyristor dans des conditions spécifiées.

Page 47

Subclause 4.3.6

Add the following letter symbols:

Reverse-conducting slope resistance	r_{RC}
Thermal resistance for on-state current	$R_{th(T)}$
Thermal resistance for reverse-conducting current	$R_{th(RC)}$

Subclause 4.3.7

Add the following letter symbol:

Reverse-conducting power dissipation P_{RC}

Page 49

CHAPTER III: ESSENTIAL RATINGS AND CHARACTERISTICS

SECTION ONE – REVERSE-BLOCKING TRIODE THYRISTORS

Page 63

After subclause 3.3.9, add the following new subclause:

3.3.10 Peak case non-rupture current

The limiting value "peak case non-rupture current" should be specified, where appropriate, as the maximum value of a triangular current rising at a specified rate, preferably 25 A/μs, and having a specified pulse duration for a starting case temperature to be specified, preferably 25 °C.

Note.— The "peak case non-rupture current" is needed for high-current rectifier diodes and thyristors (mean current ratings of about 1 000 A and higher) that are used in large convertor installations (as a rule, several devices are connected in parallel), where a device failing to block reverse voltage causes a high, steeply rising, short-circuit current that can fracture the case and cause damage to the equipment before a fuse operates.

Therefore, the determination or verification of this limiting value of current needs a high-power testing facility, and the costs of the testing itself and of the samples which are destroyed in the test are considerable and are justified only in cases where the above danger really exists.

The value of the peak case non-rupture current depends considerably on the location of the initial breakdown on the silicon chip and is usually lowest if the breakdown occurs near the edge.

Page 99

CHAPTER IV: METHODS OF MEASUREMENT

Replace, page 159, the existing subclause 1.13 by the following new subclause:

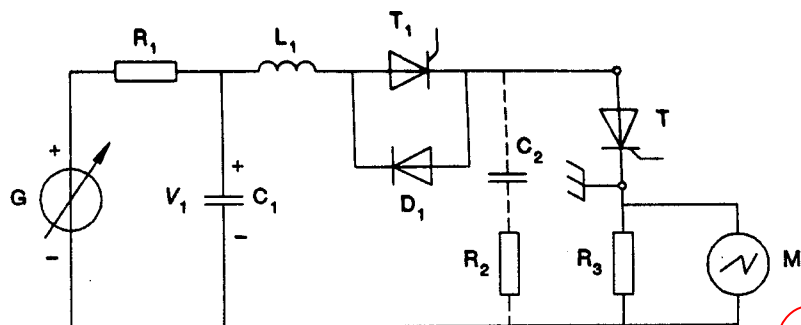
1.13 Recovered charge and reverse recovery time (Q_r , t_{rr})

1.13.1 Half-sine wave method

a) Purpose

To measure the recovered charge Q_r and the reverse recovery time t_{rr} of a thyristor under specified conditions.

b) Circuit diagram and waveform



T = thyristor being measured

Figure 72 – Circuit diagram

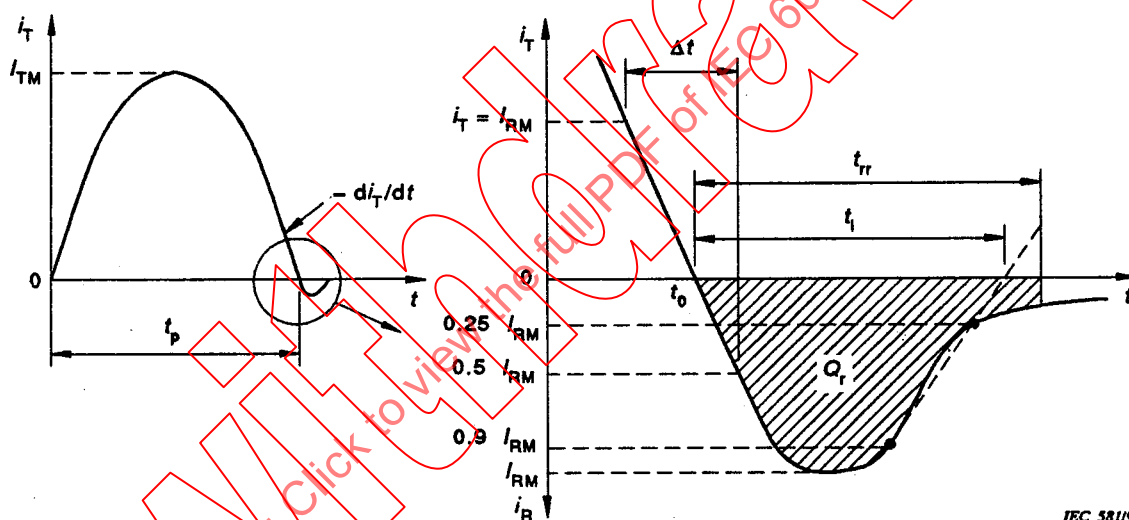


Figure 73 – Current waveform through the thyristor T

c) Circuit description and requirements

 C_1 = capacitor supplying the on-state current (see also L_1) C_2 = capacitor limiting the high induced reverse voltage D_1 = antiparallel diode

G = on-state current generator

 L_1 = inductor adjusting the rate of change of forward current $-di_T/dt$ and the pulse duration ($t_p = \pi \sqrt{L_1 C_1}$)

M = measuring instrument (for example, an oscilloscope)

 R_1 = resistor limiting the charge of C_1 R_2 = resistor limiting the high induced reverse voltage R_3 = calibrated non-inductive current sensing resistor T_1 = electronic switch (for example a thyristor)

d) *Procédure de mesure*

Amorcer le thyristor T_1 et le thyristor en mesure T simultanément et ajuster le générateur de courant à l'état passant G pour obtenir la valeur spécifiée du courant de pointe à l'état passant I_{TM} dans le thyristor T . La durée de l'impulsion t_p , la vitesse de variation du courant direct $-di_T/dt$, la tension V_1 aux bornes de C_1 doivent correspondre aux conditions spécifiées.

La charge recouvrée est mesurée comme suit:

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} I_R \cdot dt$$

où

t_0 est l'instant où le courant passe par zéro.

t_i est le temps d'intégration spécifié, de préférence égal à la valeur maximale spécifiée de t_{rr} .

Le temps de recouvrement inverse t_{rr} est l'intervalle de temps qui sépare t_0 de l'instant où la droite qui joint les valeurs décroissantes $0,9 I_{RM}$ et $0,25 I_{RM}$ de i_R coupe l'axe des courants nuls.

e) *Conditions spécifiées*

- Température ambiante ou de boîtier
- Courant de pointe à l'état passant I_{TM}
- Tension V_1 aux bornes de C_1
- Durée d'impulsion du courant à l'état passant t_p
- Vitesse de variation du courant direct $-di_T/dt$ (voir la note)
- Temps d'intégration t_i
- C_1, C_2, R_2 .

Note. – La vitesse de variation du courant direct est mesurée au voisinage du passage du courant à zéro, si possible pour des valeurs de courant comprises entre $i_T = -I_{RM}$ et $i_T = 0,5 I_{RM}$.

Dans ce cas:

$$-\frac{di_T}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{RM}}{\Delta t} \quad (\text{voir figure 73})$$

1.13.2 *Méthode en onde rectangulaire*

a) *But*

Mesurer la charge recouvrée Q_r et le temps de recouvrement inverse t_{rr} d'un thyristor dans des conditions spécifiées.

d) *Measurement procedure*

Thyristor T_1 and the thyristor being measured T are simultaneously triggered; the on-state current generator G is adjusted to give the specified value of the peak on-state current I_{TM} through the thyristor T . The pulse duration t_p , the rate of change of forward current $-di_T/dt$, the voltage V_1 at the C_1 terminals shall be in accordance with the specified conditions.

The recovered charge is measured as:

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} i_R \cdot dt$$

where

t_0 is the instant when the current passes through zero.

t_i is the specified integration time, preferably equal to the specified maximum value of t_{rr} .

The reverse recovery time t_{rr} is measured as the time interval between t_0 and the instant when, for decreasing values of i_R , a line through the points for $0,9 I_{RM}$ and $0,25 I_{RM}$ crosses the zero current axis.

e) *Specified conditions*

- Ambient or case temperature
- Peak on-state current I_{TM}
- Voltage V_1 at the C_1 terminals
- Pulse duration of on-state current t_p
- Rate of change of on-state current $-di_T/dt$ (see note)
- Integration time t_i
- C_1, C_2, R_2

Note. - The rate of change of on-state current is measured at zero crossing current, if possible for current values between $i_T = -I_{RM}$ and $i_T = 0,5 I_{RM}$.

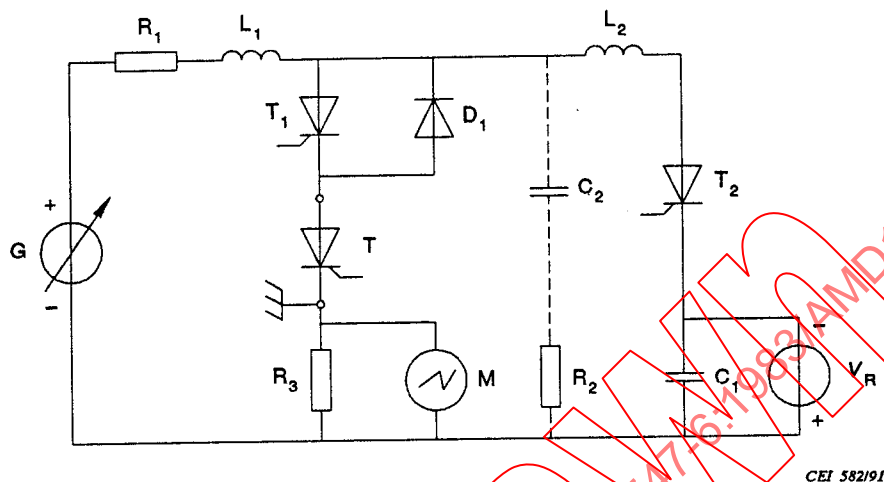
In the latter case:

$$-\frac{di_T}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{RM}}{\Delta t} \quad (\text{see figure 73})$$

1.13.2 *Rectangular wave method*a) *Purpose*

To measure the recovered charge Q_r and the reverse recovery time t_{rr} of a thyristor under specified conditions.

b) Schéma et forme d'onde



T = thyristor en mesure

Figure 74 - Schéma

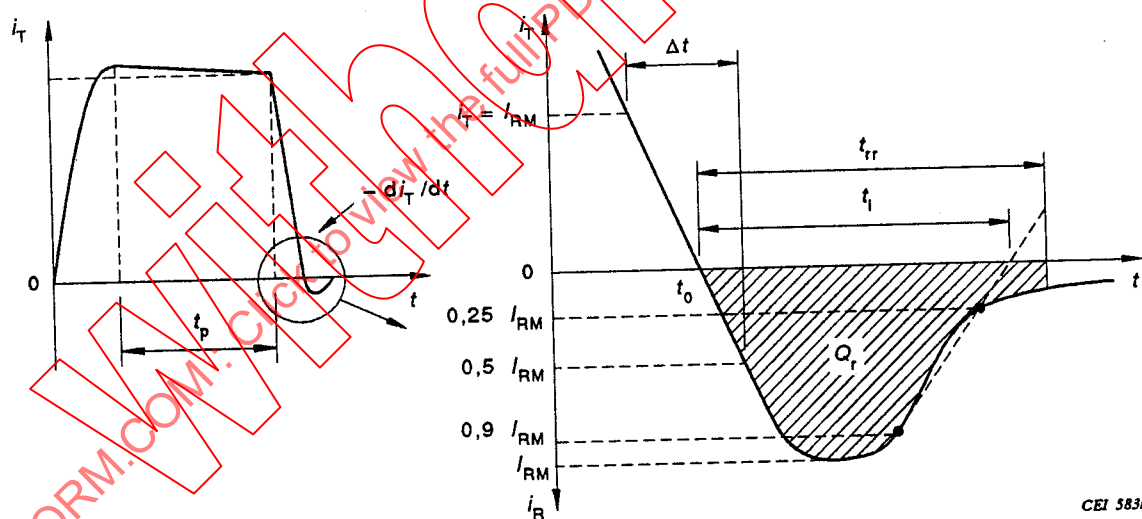


Figure 75 - Forme d'onde du courant traversant le thyristor T

c) Description et exigences du circuit

C_1 = condensateur qui fournit le courant de recouvrement inverse T

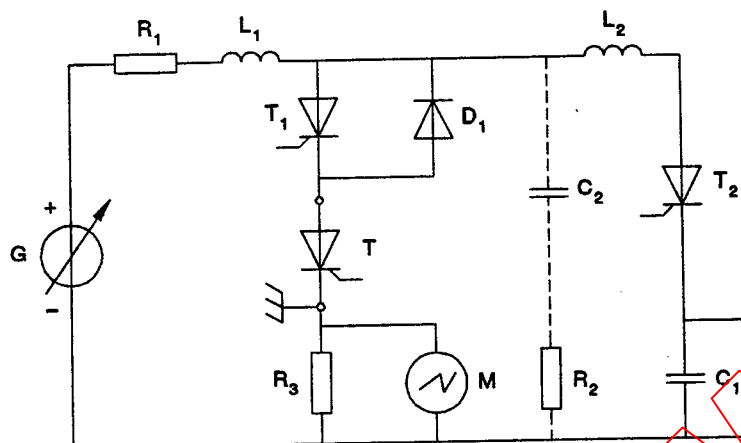
C_2 = condensateur qui limite la haute tension inverse induite

D_1 = diode antiparallèle

G = générateur de courant à l'état passant

L_1 = inductance qui bloque la tension inverse (la valeur de L_1/R_1 est choisie de façon à être très inférieure au temps t_p)

b) Circuit diagram and waveform



T = thyristor being measured

Figure 74 – Circuit diagram

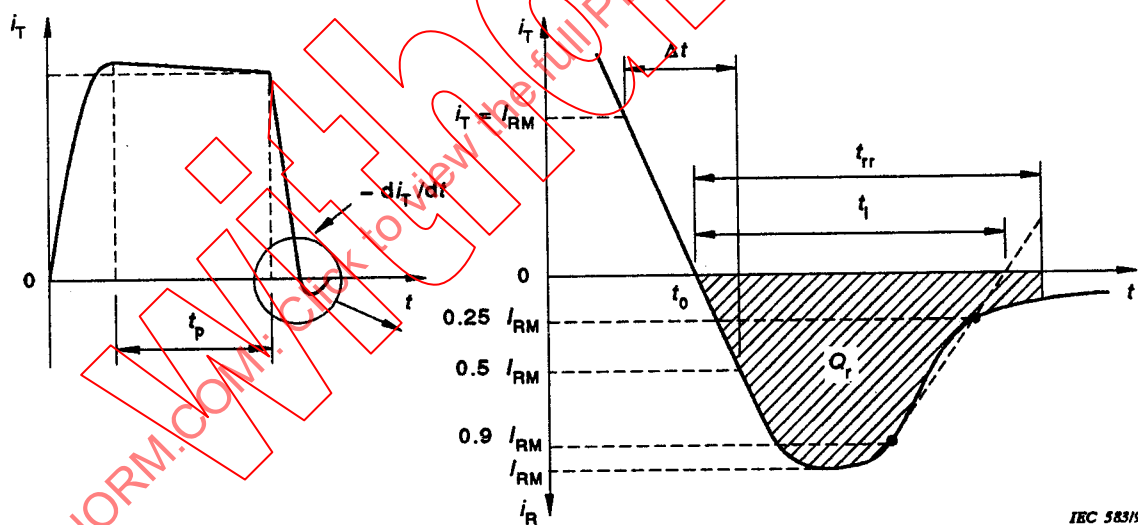


Figure 75 – Current waveform through the thyristor T

c) Circuit description and requirements

 C_1 = capacitor supplying the reverse recovery current of T C_2 = capacitor limiting the high induced reverse voltage D_1 = antiparallel diode

G = on-state current generator

 L_1 = inductor blocking the reverse voltage (the value of L_1/R_1 is selected to be much smaller than the time t_p)

- L_2 = inductance qui permet d'ajuster la vitesse de variation du courant direct $-di_T/dt$
 M = instrument de mesure (par exemple, un oscilloscope)
 R_1 = résistance qui limite le courant à l'état passant
 R_2 = résistance qui limite la haute tension inverse induite
 R_3 = résistance étalonnée non inductive qui permet de mesurer le courant
 T_1 et T_2 = interrupteurs électroniques (par exemple des thyristors).

d) *Procédure de mesure*

Amorcer le thyristor T_1 et le thyristor en mesure T simultanément et ajuster le générateur de courant à l'état passant G pour obtenir la valeur spécifiée du courant à l'état passant I_T avant l'amorçage de T_2 .

Amorcer le thyristor T_2 après le temps t_p , inverser le courant dans le thyristor T grâce à une tension inverse V_R appliquée extérieurement.

Ajuster la vitesse de variation du courant direct à la valeur spécifiée grâce à la tension inverse V_R associée au condensateur C_1 et à l'inductance L_2 .

La charge recouvrée est mesurée comme suit:

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} i_R \cdot dt$$

où

t_0 est l'instant où le courant passe par zéro.

t_i est le temps d'intégration spécifié, de préférence égal à la valeur maximale spécifiée de t_{rr} .

Le temps de recouvrement inverse t_{rr} est l'intervalle de temps qui sépare t_0 de l'instant où la droite qui joint les valeurs décroissantes $0,9 I_{RM}$ et $0,25 I_{RM}$ de i_R coupe l'axe des courants nuls.

e) *Conditions spécifiées*

- Température ambiante ou de boîtier
- Courant à l'état passant I_T (avant l'amorçage de T_2)
- Tension inverse V_R
- Durée de l'impulsion du courant à l'état passant t_p
- Vitesse de variation du courant direct $-di_T/dt$ (voir la note)
- Temps d'intégration t_i
- L_1 , L_2 , C_2 , R_2 .

Note. – La vitesse de variation du courant direct est mesurée au voisinage du passage du courant à zéro, si possible pour des valeurs de courant comprises entre $i_T = -I_{RM}$ et $i_R = 0,5 I_{RM}$.

Dans ce cas:

$$-\frac{di_T}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{RM}}{\Delta t} \quad (\text{voir figure 75})$$

- L_2 = inductor adjusting the rate of change of forward current $-di_T/dt$
 M = measuring instrument (for example, an oscilloscope)
 R_1 = resistor limiting on-state current
 R_2 = resistor limiting the high induced reverse voltage
 R_3 = calibrated non-inductive current sensing resistor
 T_1 and T_2 = electronic switches (for example, thyristors).

d) *Measurement procedure*

Thyristor T_1 and thyristor being measured T are simultaneously triggered and the on-state current generator G is adjusted to give the specified value of on-state current I_T before triggering T_2 .

Thyristor T_2 is triggered after the time t_p , and the current through the thyristor T is reversed by means of an externally applied reverse voltage V_R .

The rate of change of forward current is adjusted to the specified value by means of the reverse voltage V_R in association with capacitor C_1 and inductor L_2 .

The recovered charge is measured as:

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0 + t_i} i_R \cdot dt$$

where

t_0 is the instant when the current passes through zero.

t_i is the specified integration time, preferably equal to the specified maximum value of t_{rr} .

The reverse recovery time t_{rr} is measured as the time interval between t_0 and the instant when, for decreasing values of i_R , a line through the points for $0,9 I_{RM}$ and $0,25 I_{RM}$ crosses the zero current axis.

e) *Specified conditions*

- Ambient or case temperature
- On-state current (before triggering T_2) I_T
- Reverse voltage V_R
- Pulse duration of on-state current t_p
- Rate of change of on-state current $-di_T/dt$ (see note)
- Integration time t_i
- L_1, L_2, C_2, R_2 .

Note.— The rate of change of on-state current is measured at zero crossing current, if possible for current values between $i_T = -I_{RM}$ and $i_R = 0,5 I_{RM}$.

In the latter case:

$$-\frac{di_T}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{RM}}{\Delta t} \quad (\text{see figure 75})$$

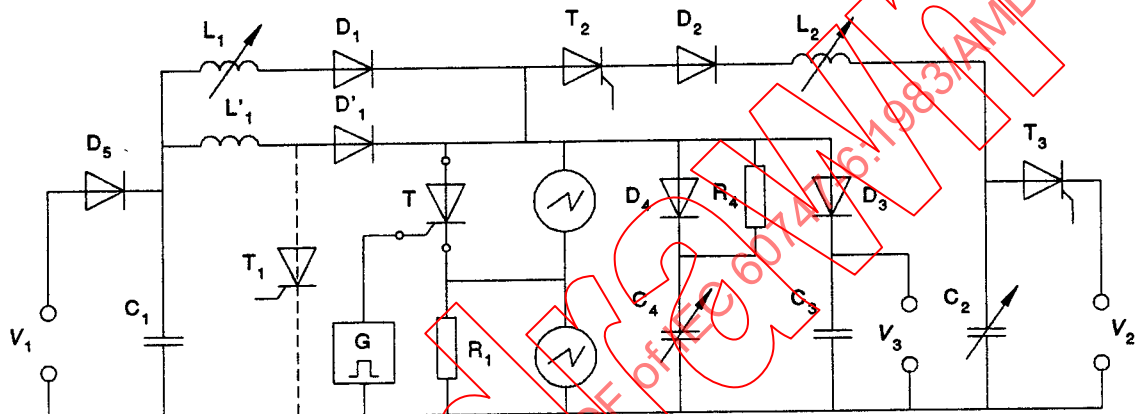
Après le paragraphe 1.13.2 ajouter le nouveau paragraphe suivant:

1.14 Temps de désamorçage après commutation (t_q) du circuit d'un thyristor passant en inverse

a) But

Mesurer le temps de désamorçage après commutation du circuit d'un thyristor passant en inverse (lorsqu'une diode est intégrée avec le thyristor sur une même pastille de silicium), dans des conditions spécifiées.

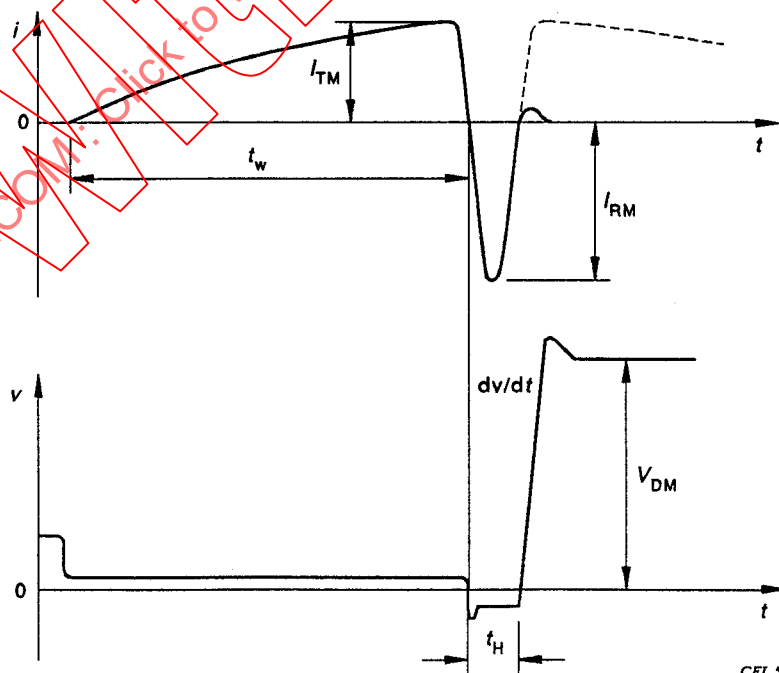
b) Schéma et formes d'onde



CEI 584/91

T = thyristor en mesure

Figure 76 – Schéma



CEI 585/91

Figure 77 – Formes d'onde de courant et de la tension

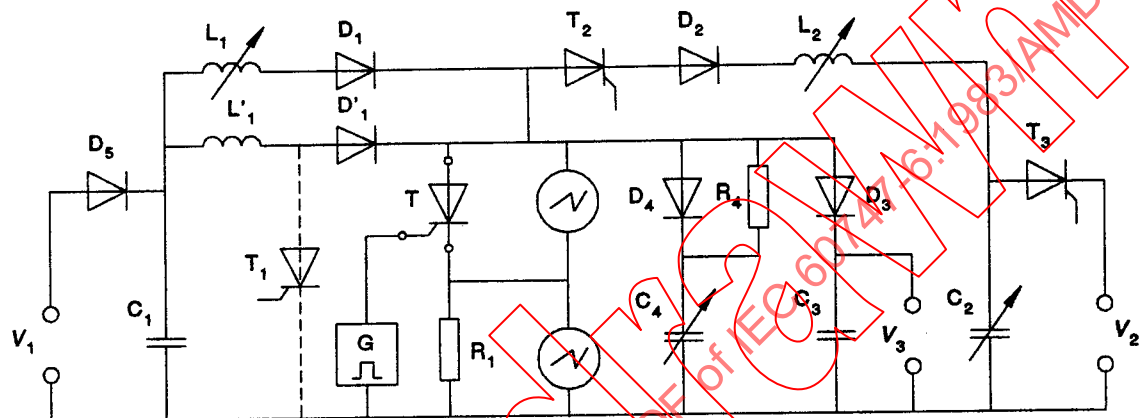
After subclause 1.13.2 add the following new subclause:

1.14 Circuit commutated turn-off time (t_q) of a reverse conducting thyristor

a) Purpose

To measure the circuit commutated turn-off time of a reverse conducting thyristor (where a diode is integrated with a thyristor on a common silicon chip), under specified conditions.

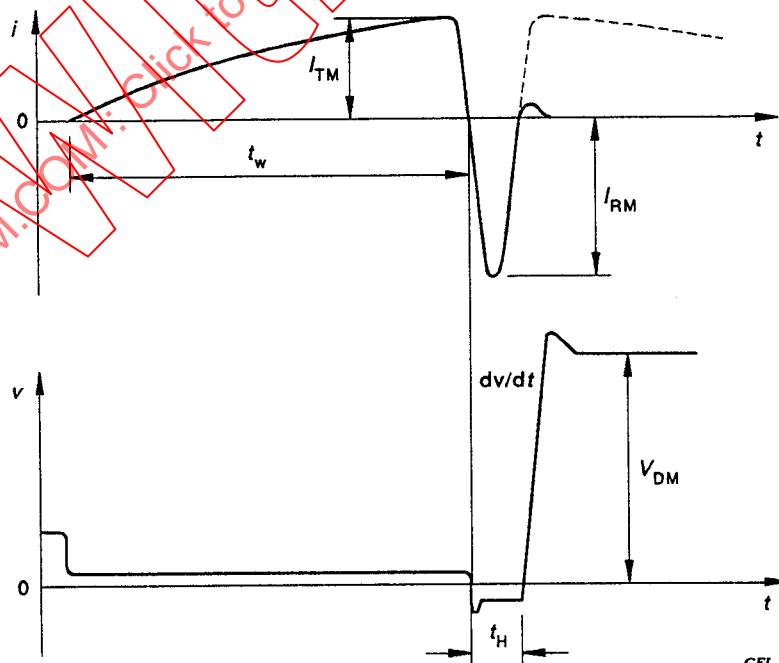
b) Circuit diagram and waveforms



IEC 584/91

T = thyristor being measured

Figure 76 – Circuit diagram



CEI 585/91

Figure 77 – Current and voltage waveforms

c) *Description et exigences du circuit*

V_1	= source de courant à l'état passant
V_2	= source de courant inverse
V_3	= tension destinée à écrêter la tension réappliquée à l'état bloqué
C_1, L_1, L'_1	= circuit oscillant destiné à engendrer le courant demi-sinusoïdal à l'état passant
C_2, L_2	= circuit oscillant destiné à engendrer le courant demi-sinusoïdal inverse
C_4	= condensateur déterminant la vitesse de croissance de la tension réappliquée à l'état bloqué
T_1	= thyristor destiné à réduire le courant dans le thyristor à mesurer lorsqu'il y a retournement
T_2	= thyristor destiné à instaurer la conduction inverse
G	= générateur d'impulsions de déclenchement
R_1	= résistance non inductive pour la mesure du courant
T	= thyristor en mesure
$D_1, D'_1,$ D_2, D_3, D_4	= diodes à recouvrement rapide.

Les condensateurs C_1 et C_2 se chargent pendant la même demi-période des tensions V_1 et V_2 (T_3 doit être amorcé). Pendant la demi-période suivante, on amorce le thyristor à mesurer et il conduit pendant le quart de l'onde sinusoïdale, la forme d'onde étant déterminée par V_1 , C_1 et L_1 (et L'_1).

Au moment où le courant à l'état passant atteint sa valeur de crête I_{TM} , on amorce le thyristor T_2 . Le courant dans le thyristor à mesurer s'inverse. Le courant inverse demi-sinusoïdal est déterminé par V_2 , C_2 et L_2 . Sa durée détermine l'intervalle de suppression t_H (voir figure 79).

Après le passage du courant inverse demi-sinusoïdal, le courant C_1 et L_1 charge le condensateur C_4 de façon quasi-linéaire. La vitesse de croissance de la tension aux bornes de C_4 est déterminée par le courant de charge et la valeur de C_4 et peut être modifiée en ajustant C_4 . La valeur de pointe V_{DM} est limitée par la tension d'écrêtage V_3 . La diode D_1 empêche C_4 de se décharger, de façon que la tension aux bornes du thyristor à mesurer reste égale à V_{DM} pendant un certain temps.

La valeur de R_4 doit être suffisamment élevée pour limiter le courant de décharge de C_4 lorsqu'il y a retournement du thyristor à mesurer.

Il est préférable de diviser L_1 , D_1 et L'_1 , D'_1 , et d'ajouter le thyristor auxiliaire T_1 qui est amorcé avec T_2 , de façon que lorsque la tension directe est réappliquée une faible partie seulement du courant provenant de C_1 charge C_4 (qui peut être rendu plutôt faible dans ce cas) ou traverse le thyristor à mesurer lorsqu'il y a retournement.

c) *Circuit description and requirements*

- V_1 = on-state current source
 V_2 = reverse current source
 V_3 = voltage for clamping the reapplied off-state voltage
 C_1, L_1, L'_1 = oscillating circuit to produce the on-state current half wave

 C_2, L_2 = oscillating circuit to produce the reverse current half wave
 C_4 = capacitor determining the rate of rise of the reapplied off-state voltage

 T_1 = thyristor to reduce the current through the thyristor being measured when it breaks over
 T_2 = thyristor to initiate reverse conduction
 G = trigger pulse generator
 R_1 = non-inductive current sensing resistor
 T = thyristor being measured
 $D_1, D'_1,$
 D_2, D_3, D_4 = fast recovery diodes.

The capacitors C_1 and C_2 are charged during the same half cycle of the voltages V_1 and V_2 (T_3 to be triggered). During the following half cycle, the thyristor being measured is triggered and conducts a quarter sine wave, the form of which is determined by V_1 , C_1 and L_1 (and L'_1).

At the instant when the on-state current reaches its crest value I_{TM} , thyristor T_2 is triggered. The current through the thyristor being measured reverses. The half sine wave reverse current is determined by V_2 , C_2 and L_2 . Its duration determines the hold-off interval t_H (see figure 79).

After the reverse current half wave, the current from C_1 and L_1 charges capacitor C_4 almost linearly. The rate of rise of the voltage across C_4 is determined by the charging current and by the value of C_4 , and may be varied by adjusting C_4 . The peak value V_{DM} is limited by the clamping voltage V_3 . Diode D_1 prevents C_4 from discharging so that the voltage across the thyristor being measured remains at V_{DM} for some time.

The value of R_4 must be high enough to limit the discharge current from C_4 when the thyristor being measured breaks over.

It is advisable to divide L_1 , D_1 and L'_1 , D'_1 , and to add the auxiliary thyristor T_1 which is triggered together with T_2 , so that when the forward voltage is reapplied, only a small part of the current from C_1 charges C_4 (which may be made rather small in this case) or flows through the thyristor being measured when it breaks over.

d) *Exécution*

- Régler la température à la valeur spécifiée.
- Faire fonctionner le générateur d'impulsions de déclenchement.
- Régler le courant à l'état passant dans le thyristor à mesurer à la valeur spécifiée en ajustant V_1 et L_1 .
- Régler le courant inverse à la valeur spécifiée en ajustant V_2 , L_2 et C_2 .
- Régler la valeur de pointe de la tension réappliquée à l'état bloqué à la valeur spécifiée en ajustant V_3 .
- Régler la vitesse de croissance de la tension à l'état bloqué à la valeur spécifiée en ajustant C_4 .
- En ajustant L_2 et C_2 , réduire l'intervalle de suppression t_H de façon qu'il n'y ait juste plus retournement du dispositif. Cette valeur de t_H est le temps de désamorçage après commutation du circuit t_q .

Note. – La tension V_2 doit être supérieure à V_{DM} pour que l'on soit sûr que le courant provenant de C_1 ne traverse pas C_2 , après commutation.

e) *Conditions spécifiées*

Il convient de spécifier les valeurs des conditions suivantes:

- a) Température du boîtier ou température d'un point de référence.
- b) Courant de pointe à l'état passant I_{TM} .
- c) Durée t_w du courant à l'état passant (1/4 de l'onde sinusoïdale).
- d) Courant inverse de pointe I_{RM} .
- e) Tension réappliquée à l'état bloqué V_{DM} .
- f) Vitesse de croissance de la tension réappliquée à l'état bloqué dv/dt .
- g) Conditions pour le circuit de gâchette.

Page 200

Après le paragraphe 3.4.4, ajouter le nouveau paragraphe suivant:

3.4.5 *Méthode de mesure pour la caractéristique «énergie totale»*

On peut aussi utiliser les méthodes d'essai pour les valeurs limites de courant à l'état passant des thyristors à commutation rapide pour déterminer la perte d'énergie totale due à l'application d'une impulsion de courant à l'état passant. Cette perte d'énergie est définie par:

$$E_R = \int_0^{t_w} v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

où:

$v(t)$ = tension appliquée au thyristor

$i(t)$ = courant traversant le thyristor

t_w = durée d'une impulsion de courant

d) *Measurement procedure*

- The temperature is set to the specified value.
- The trigger pulse generator is switched on.
- The on-state current through the thyristor being measured is set to the specified value by adjusting V_1 and L_1 .
- The reverse current is set to the specified value by adjusting V_2 , L_2 and C_2 .
- The peak value of the reapplied off-state voltage is set to the specified value by adjusting V_3 .
- The rate of rise of off-state voltage is set to the specified value by adjusting C_4 .
- By adjusting L_2 and C_2 , the hold-off interval t_H is reduced so that the device just does not break over. This value of t_H is the circuit commutated turn-off time t_q .

Note.— The voltage V_2 shall be higher than V_{DM} to make sure that the current from C_1 does not flow into C_2 after commutation.

e) *Specified conditions*

The values of the following conditions should be specified:

- a) Case or reference-point temperature.
- b) Peak on-state current I_{TM} .
- c) Duration t_w of the on-state current quarter wave.
- d) Peak reverse current I_{RM} .
- e) Reapplied off-state voltage V_{DM} .
- f) Rate of rise of the reapplied off-state voltage dv/dt .
- g) Gate circuit conditions.

Page 201

After subclause 3.4.4, add the following new subclause:

3.4.5 *Measuring method for the characteristic "total energy"*

The test methods for on-state current ratings of fast-switching thyristors can also be used to determine the total energy loss during one on-state current pulse. This energy loss is defined as:

$$E_R = \int_0^{t_w} v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

where:

$v(t)$ = voltage across the thyristor

$i(t)$ = current flowing through the thyristor

t_w = duration of one current pulse

En pratique, il est difficile de déterminer E_R à partir de l'équation précédente et, en conséquence, on peut utiliser à la place la procédure suivante:

Faire traverser le thyristor par un courant permanent à l'état passant tel que la température au point de référence choisi sur le boîtier ait la même valeur que celle mesurée préalablement avec le thyristor fonctionnant en impulsion. Les deux mesures doivent être faites exactement dans les mêmes conditions de refroidissement et dans les mêmes conditions d'équilibre thermique.

Le produit du courant permanent à l'état passant par la tension correspondante est égal à la dissipation de puissance totale du thyristor en fonctionnement par impulsion.

La perte d'énergie totale pendant une impulsion de courant à l'état passant se calcule en divisant la dissipation de puissance totale par la fréquence de répétition.

Page 206

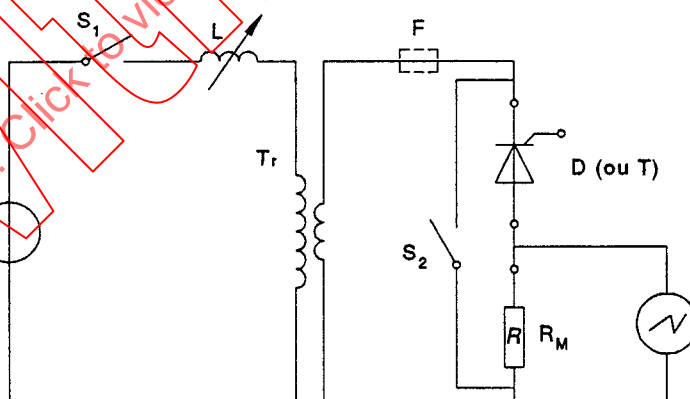
Ajouter, après le paragraphe 3.5, le nouveau paragraphe suivant:

3.6 Courant de pointe pour non-rupture du boîtier

a) But

Vérifier le courant de pointe pour non-rupture du boîtier d'une diode de redressement ou d'un thyristor dans des conditions spécifiées.

b) Schéma et forme d'onde durant l'essai



CEI 586/91

Figure 78 – Schéma

In practice, it is difficult to determine E_R from the above equation, and so the following preceding procedure may be used instead:

A direct on-state current is passed through the thyristor such that the same temperature is reached at the reference point on the case as was measured previously with the thyristor under pulse operation. Both temperature measurements should be made under exactly the same cooling conditions and under the same thermal equilibrium conditions.

The product of the direct on-state current and the on-state voltage of the thyristor under test is the same as the total power dissipation in the thyristor under pulse operation.

The total energy loss during one on-state current pulse is calculated by dividing the total power dissipation by the repetition frequency.

Page 207

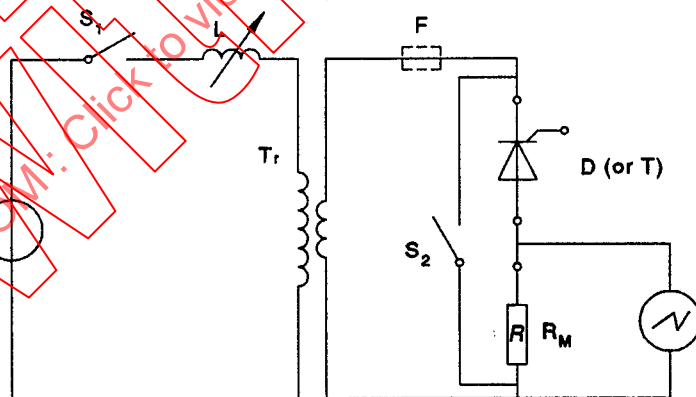
After subclause 3.5, add the following new subclause:

3.6 Peak case non-rupture current

a) Purpose

To verify the peak case non-rupture current of a rectifier diode or a thyristor under specified conditions.

b) Circuit diagram and test current waveform



IEC 586/91

Figure 78 – Circuit diagram