

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 147-2C

Première édition — First edition

1970

Troisième 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

Third 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 Varembe

Genève, Suisse

Withdrawn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 147-2C

Première édition — First edition

1970

Troisième 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

Third 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 Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

CHAPITRE II: TRANSISTORS

Articles

8.1	Capacité de sortie collecteur-base d'un transistor à quatre sorties dans lequel les électrodes d'émetteur, de base et de collecteur sont isolées électriquement du boîtier	6
8.2	Capacité collecteur-base des transistors présentant des sorties isolées du boîtier et ayant un conducteur de blindage séparé ($C_c + C_{cb}$)	6
11.	Valeurs limites des tensions et caractéristiques mesurables limitant les tensions d'utilisation	8
12.	Résistance thermique	10
13.	Paramètres de commutation	18
14.	Paramètres haute fréquence	34
15.	Bruit	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

CHAPTER II: TRANSISTORS

Clause

8.1	Collector-base output capacitance of a four-terminal transistor in which the emitter, base and collector electrodes are electrically isolated from the case	7
8.2	Collector-base capacitance of transistors with terminals isolated from the case and having a separate screen lead ($C_c + C_{cb}$)	7
11.	Voltage ratings and measurable characteristics limiting the working voltages	9
12.	Thermal resistance	11
13.	Switching parameters	19
14.	High-frequency parameters	35
15.	Noise	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TROISIÈME 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 C E I 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 C E I 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 C E I 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 préparée par le Comité d'Etudes N° 47 de la C E I: Dispositifs à semiconducteurs et Circuits intégrés.

Elle constitue le troisième complément à la Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure, de la Publication 147 de la C E I. La Première partie, traitant des valeurs limites et des caractéristiques essentielles, est éditée comme Publication 147-1 de la C E I.

Ce complément traite des transistors.

Huit projets différents ont servi pour ce complément. Le paragraphe 8.1 résulte d'observations qui ont été présentées lors d'une réunion tenue à Bad Kreuznach en 1963; un projet a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en juillet 1965. Le paragraphe 8.2 résulte de travaux qui ont débuté à une réunion qui s'est tenue à Bad Kreuznach en 1963; un projet a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en septembre 1967. Les travaux sur l'article 11 ont débuté à une réunion qui s'est tenue à Interlaken en 1961; un projet a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en août 1963. L'article 12 résulte de travaux qui ont débuté à une réunion tenue à Interlaken en 1961; un projet a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en août 1964. L'article 13 résulte de travaux qui ont débuté aux réunions d'Interlaken en 1961 et de Bad Kreuznach en 1963; deux projets ont été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois, l'un en août 1963, l'autre en juillet 1965, respectivement. Les travaux relatifs à l'article 14 ont débuté lors d'une réunion qui s'est tenue à Copenhague en 1962; un projet a été soumis aux Comités nationaux pour approbation selon la Procédure des Deux Mois en septembre 1967. L'article 15 résulte de travaux débutés à une réunion qui s'est tenue à Londres en 1960; le projet final a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en septembre 1967.

Les pays suivants ont voté explicitement en faveur de la publication de tout ou partie de ce complément:

Afrique du Sud	Japon
Allemagne	Pays-Bas
Australie	Pologne
Autriche	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Israël	Yougoslavie
Italie	

Le Comité national français a voté contre la publication de la note additionnelle à l'article 8. Le Comité national de l'U.R.S.S. a voté contre la publication de l'article 11. Le Comité national du Royaume-Uni a voté contre la publication de l'article 12.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

THIRD 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 I E C 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 I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C 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 I E C Technical Committee No. 47: Semiconductor Devices and Integrated Circuits.

It constitutes the third supplement to Part 2, General Principles of Measuring Methods, I E C Publication 147. Part 1, dealing with Essential Ratings and Characteristics, is issued as I E C Publication 147-1.

This supplement deals with transistors.

Eight different drafts were used for this Supplement. Sub-clause 8.1 results from comments offered at a meeting held in Bad Kreuznach in 1963; a draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1965. Sub-clause 8.2 results from work started at a meeting held in Bad Kreuznach in 1963; a draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1967. Work on Clause 11 started at a meeting held in Interlaken in 1961; a draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1963. Clause 12 results from work started at a meeting held in Interlaken in 1961; a draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1964. Clause 13 results from work started at meetings held in Interlaken in 1961 and in Bad Kreuznach in 1963; two drafts were submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule, one in August 1963, the other in July 1965, respectively. Work on Clause 14 started at a meeting held in Copenhagen in 1962; a draft was submitted to National Committees for approval under the Two Months' Procedure in September 1967. Clause 15 results from work started at a meeting held in London in 1960; the final draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1967.

The following countries voted explicitly in favour of publication of all or part of this Supplement:

Australia	Netherlands
Austria	Poland
Belgium	Romania
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Israel	United States of America
Italy	Yugoslavia
Japan	

The French National Committee voted against the publication of the additional note to Clause 8. The U.S.S.R. National Committee voted against the publication of Clause 11. The British National Committee voted against the publication of Clause 12.

TROISIÈME 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 II : TRANSISTORS

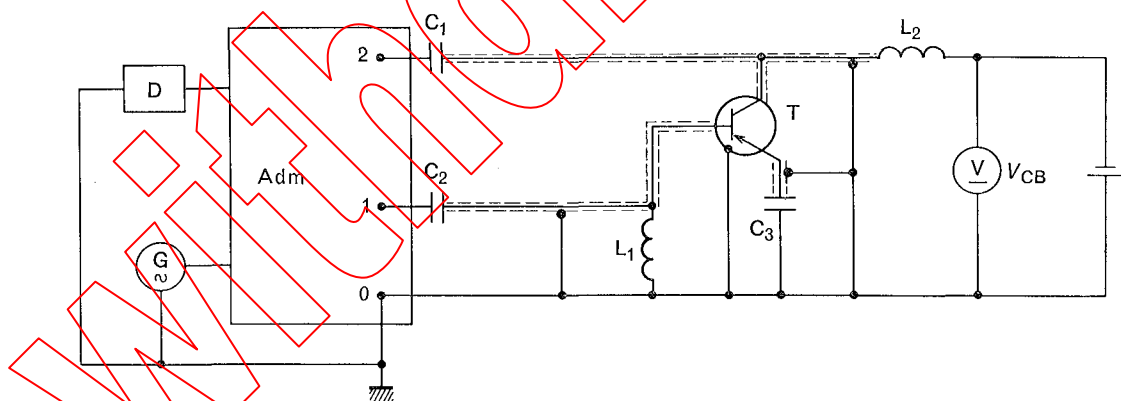
- 8.1 *Capacité de sortie collecteur-base d'un transistor à quatre sorties dans lequel les électrodes d'émetteur, de base et de collecteur sont isolées électriquement du boîtier*

La méthode de pont à laquelle se rapporte la figure 5c de la Publication 147-2 de la C E I peut être adaptée pour inclure ce cas, pourvu que, pendant la mesure, la sortie du boîtier soit connectée électriquement à l'une des trois autres sorties.

- 8.2 *Capacité collecteur-base des transistors présentant des sorties isolées du boîtier et ayant un conducteur de blindage séparé ($C_e + C_{cb}$)*

Mesure au pont de $C_e + C_{cb}$ avec un courant émetteur nul et à une valeur spécifiée de V_{CB} .

La figure 1 montre un exemple de circuit fondamental.



Adm = pont d'admittance
D = détecteur
T = transistor mesuré

FIG. 1. — Circuit fondamental pour la mesure de $C_e + C_{cb}$.

Les condensateurs C_1 , C_2 , C_3 doivent présenter une faible impédance à la fréquence de mesure, et les inductances L_1 et L_2 doivent présenter une haute impédance à la fréquence de mesure.

On suppose qu'il est impossible ou indésirable de faire passer du courant continu dans le pont, sinon L_1 et C_2 peuvent être supprimés.

THIRD 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 II : TRANSISTORS

- 8.1 *Collector-base output capacitance of a four-terminal transistor in which the emitter, base and collector electrodes are electrically isolated from the case*

The bridge method in Figure 5c of IEC Publication 147-2 can be adapted to cover this situation, provided that during the measurement the case terminal is electrically connected to one of the other three terminals.

- 8.2 *Collector-base capacitance of transistors with terminals isolated from the case and having a separate screen lead ($C_c + C_{cb}$)*

Bridge measurement of $C_c + C_{cb}$ with zero emitter current and at a specified value of V_{CB} .

Figure 1 shows an example of the basic circuit.

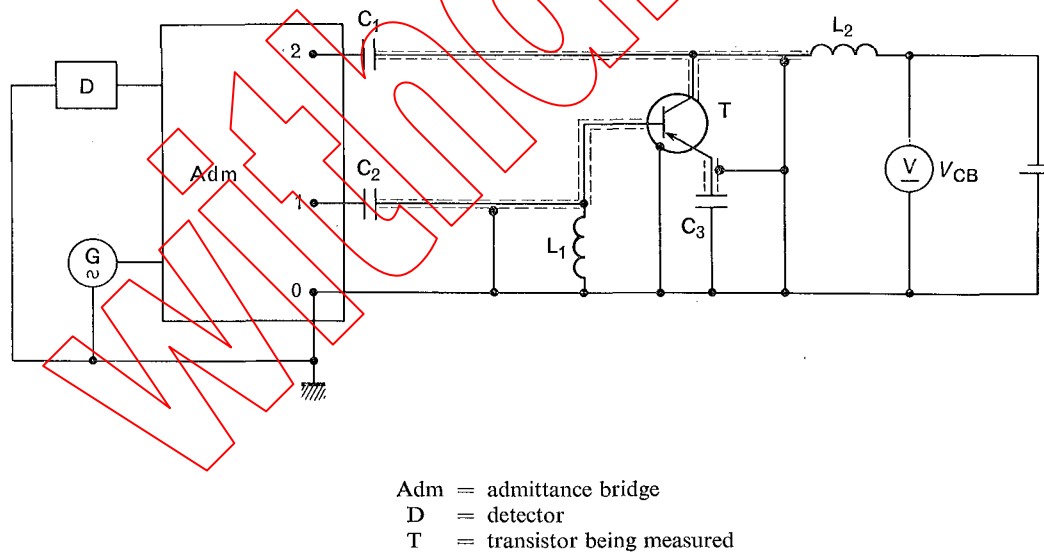


FIG. 1. — Basic circuit for the measurement of $C_c + C_b$.

Capacitors C_1 , C_2 , C_3 should have a low impedance at the frequency of measurement, and inductors L_1 and L_2 should have a high impedance at the frequency of measurement.

It is assumed that it is impossible or undesirable to pass d.c. through the bridge. Otherwise, the components L_1 and C_2 may be omitted.

Les capacités parasites doivent être réduites au minimum. Pour la mesure, le plan de référence sur le dispositif doit être défini, et le blindage des sorties du dispositif doit être prolongé jusqu'à ce plan.

La méthode de montage du transistor devra être spécifiée avec beaucoup de détails si l'on veut obtenir des résultats précis et reproductibles.

Par exemple, on devra spécifier un support d'essai tel que la mesure de capacité soit indépendante de la longueur des conducteurs du transistor, et de manière à ce que la capacité résultante soit rapportée au plan de référence de mesure.

Note. — Des informations supplémentaires relatives au support d'essai peuvent être trouvées, par exemple, dans la Publication 100 de la C E I: Méthodes de mesure des capacités entre électrodes des tubes électroniques.

La mesure doit être effectuée en petits signaux.

La fréquence de mesure doit être suffisamment basse pour que la composante imaginaire du rapport de transfert du courant, sortie en court-circuit et en base commune, soit négligeable, et pour que les capacités de jonction présentent à cette fréquence une impédance élevée par rapport à la partie réelle de h_{ie} à haute fréquence.

Procédé de mesure

Le transistor étant ôté du support d'essai, on effectue les réglages de zéro du pont, le générateur de signal et le détecteur étant réglés à la fréquence de mesure.

Le transistor est alors inséré dans le support d'essai, et la tension collecteur-base est réglée à la valeur spécifiée.

On équilibre à nouveau le pont, et la lecture correspondant au changement de capacité donne ($C_c + C_{cb}$) avec un courant émetteur nul.

11. Valeurs limites des tensions et caractéristiques mesurables limitant les tensions d'utilisation

11.1 Introduction

Les informations sur les tensions maximales qui peuvent être appliquées aux transistors peuvent avoir la forme de valeurs limites déterminées par le fabricant, par exemple:

- Tension collecteur-base maximale V_{CBmax}
- Tension collecteur-émetteur maximale V_{CEmax}
- Tension inverse émetteur-base maximale V_{EBmax}

ou de données sur les caractéristiques qui limiteront la tension de fonctionnement dans un circuit, par exemple:

- Tension de claquage collecteur-base avec un courant émetteur nul $V_{(BR)CBO}$
- Tension de claquage émetteur-base avec un courant collecteur nul $V_{(BR)EBO}$
- Tension de claquage collecteur-émetteur $V_{(BR)CE-}$

Les valeurs limites sont basées sur un nombre considérable de résultats d'expériences et tiennent compte à la fois des paramètres limitatifs de la tension et des mécanismes de défaillance en durée. Il n'est pas possible de mesurer de telles valeurs limites. Lorsque l'information a la forme de données sur les caractéristiques, qui ont pour effet de limiter les tensions applicables à un transistor dans un circuit, ceci implique que les mesures puissent être faites dans des conditions maintenues sous contrôle.

Stray capacitances should be reduced to a minimum. For the measurement, a plane of reference on the device must be defined, and the screening of the device leads extended to this plane.

The method of mounting the transistor should be specified in considerable detail if accurate and reproducible results are to be obtained.

For example, a test socket should be specified such that the capacitance measurement is independent of the lead length of the transistor, and so that the resulting capacitance is referred to the reference plane of measurement.

Note. — Additional information concerning test socket design may be found, for example, in I E C Publication 100, Methods for the Measurement of Direct Interelectrode Capacitances of Electronic Tubes and Valves.

The measurement should be made under small-signal conditions.

The frequency of measurement should be sufficiently low so that the imaginary component of the common-base short-circuit current transfer ratio is negligible, and so that the impedances of the junction capacitances at this frequency are high compared with the real part of h_{ie} at high frequency.

Measurement procedure

With no transistor in the test socket, the zero adjustments of the bridge are made with the a.c. generator and detector set to the frequency of measurement.

The transistor is then inserted into the test socket, and the collector-base voltage is adjusted to the specified value.

The bridge is rebalanced, and the change in the capacitance reading equals $(C_c + C_{cb})$ with zero emitter current.

11. Voltage ratings and measurable characteristics limiting the working voltages

11.1 Introduction

Information on the maximum voltages which may be applied to transistors may take the form of ratings determined by the manufacturer, e.g.:

- Maximum collector-base voltage V_{CBmax}
- Maximum collector-emitter voltage V_{CEmax}
- Maximum emitter-base reverse voltage V_{EBmax}

or of data on characteristics which will limit the operating voltage in a circuit, e.g.:

- Collector-base breakdown voltage with zero emitter current $V_{(BR)CBO}$
- Emitter-base breakdown voltage with zero collector current $V_{(BR)EBO}$
- Collector-emitter breakdown voltage $V_{(BR)CE-}$

Ratings are based on a considerable amount of experience and take into account both voltage limiting parameters and life failure mechanisms. It is not possible to measure such ratings. When the information given is in the form of data on characteristics, which would have the effect of limiting the voltages which may be applied across the transistor in a circuit, this implies that measurements may be made under controlled conditions.

11.2 Méthodes de mesure des caractéristiques limitant les tensions d'utilisation

Ces mesures peuvent être effectuées seulement à la condition qu'aucune valeur limite ne soit dépassée.

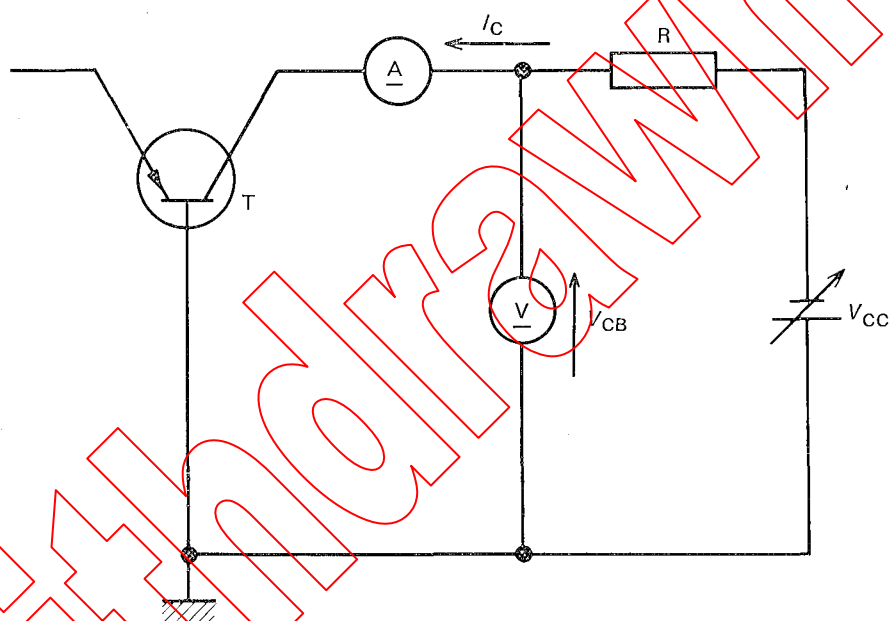
11.2.1 Tension de claquage collecteur-base avec un courant émetteur nul $V_{(BR)CBO}$

Cette mesure est faite avec le circuit correspondant à la figure 2.

La résistance R est une résistance pour limiter le courant et doit être suffisamment élevée pour empêcher qu'un courant excessif ne traverse le transistor et l'appareil de mesure du courant.

On augmente la tension V_{CC} jusqu'à ce que la valeur limite de la tension du transistor soit atteinte, ou jusqu'à ce que le courant collecteur atteigne la valeur spécifiée. La valeur de la tension collecteur-base pour laquelle le courant collecteur atteint la valeur spécifiée est la tension de claquage collecteur-base $V_{(BR)CBO}$.

Cependant, si la valeur limite de la tension est atteinte avant que le courant collecteur atteigne la valeur spécifiée, on ne peut pas déterminer la tension de claquage collecteur-base.



T = transistor mesuré

FIG. 2. — Circuit pour la mesure de $V_{(BR)CBO}$.

11.2.2 Tension de claquage émetteur-base avec un courant collecteur nul $V_{(BR)EBO}$

Cette mesure est effectuée comme il est décrit au paragraphe 11.2.1 ci-dessus, sauf que la tension de polarisation inverse est appliquée entre l'émetteur et la base avec le collecteur en circuit ouvert.

11.2.3 Tension de claquage émetteur-collecteur $V_{(BR)CE}$

A l'étude.

12. Résistance thermique

12.1 Introduction

La mesure de la résistance thermique R_{th} implique celle de t_j et de t_{amb} (ou t_{case}) tandis qu'une puissance donnée est dissipée dans le transistor.

Pour mesurer la température de la jonction, il faut utiliser un paramètre du dispositif sensible à la température.

11.2 Methods of measurement of characteristics limiting the working voltages

These measurements may only be performed provided that no ratings are exceeded.

11.2.1 Collector-base breakdown voltage with zero emitter current $V_{(BR)CBO}$

This measurement is made in the circuit given in Figure 2.

The resistor R is a current limiting resistor and should be of sufficiently high value to prevent excessive current flowing through the transistor and current meter.

The voltage V_{CC} is increased until either the maximum rated voltage of the transistor is reached, or until the collector current reaches the specified value. The value of collector-base voltage at which the collector current reaches the specified value is then the collector-base breakdown voltage $V_{(BR)CBO}$.

However, if the maximum voltage rating is reached before the specified value of the collector current is obtained, then the collector-base breakdown voltage cannot be determined.

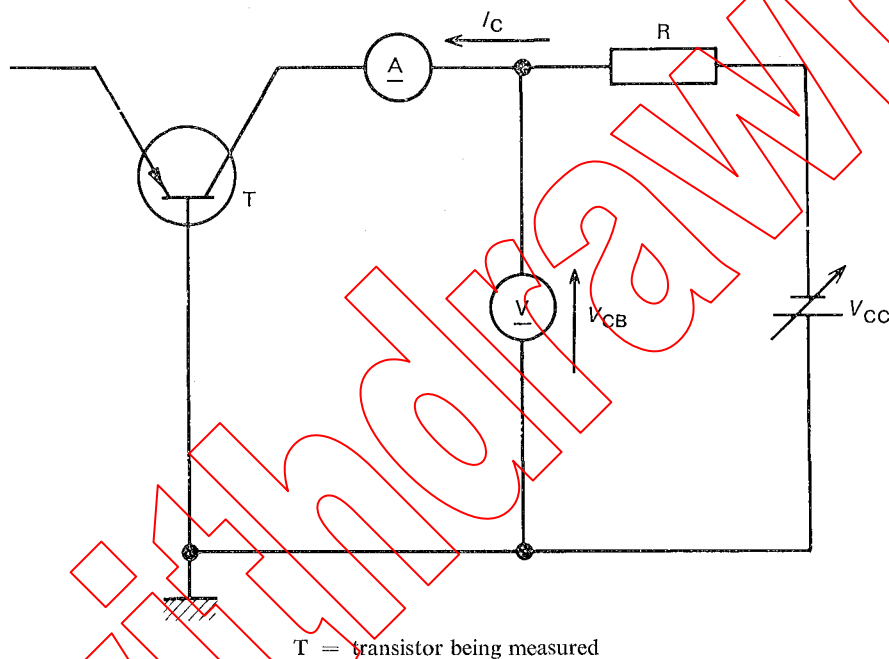


FIG. 2. — Circuit for the measurement of $V_{(BR)CBO}$.

11.2.2 Emitter-base breakdown voltage with zero collector current $V_{(BR)EBO}$

This measurement is made in the same manner as described in Sub-clause 11.2.1 above, except that the reverse bias voltage is applied between the emitter and the base with the collector open-circuited.

11.2.3 Collector-emitter breakdown voltage $V_{(BR)CE}$

Under consideration.

12. Thermal resistance

12.1 Introduction

The measurement of thermal resistance R_{th} involves the measurement of t_j and t_{amb} (or t_{case}) while a known power is being dissipated in the transistor.

To measure the junction temperature, a temperature-sensitive device parameter must be used.

Les deux paramètres les plus utilisés sont:

- 1) La caractéristique continue directe de la jonction collecteur.
- 2) La caractéristique continue directe de la jonction émetteur.

La chute de la tension directe diminue avec l'accroissement de la température. De ce fait, le courant direct pour une tension fixée, ou la tension directe pour un courant fixé (ou une condition intermédiaire) peuvent avoir des valeurs étalonnées en fonction de la température de la jonction.

Les méthodes de mesure de la température de la jonction impliquent la dissipation d'une très faible puissance dans le transistor pendant leur exécution, afin que le paramètre sensible à la température de la jonction puisse avoir des valeurs étalonnées en fonction de la température ambiante. De ce fait, puisque de la puissance doit être dissipée dans le transistor, la mesure de la résistance thermique nécessite l'utilisation d'un système permettant d'appliquer la puissance au transistor en régime périodique et de mesurer la température de la jonction.

Il faut noter que cette méthode de mesure suppose que la distribution de température sur la jonction est uniforme pendant l'intervalle de temps où la puissance est dissipée dans le transistor ou celui de la mesure du paramètre. Cette condition peut ne pas être réalisée.

12.2 *Procédure générale pour les mesures de la résistance thermique*

12.2.1 *Temps de commutation*

La puissance est dissipée dans le transistor pendant la majeure partie du temps, puis on arrête la dissipation pendant un court intervalle de temps pour permettre la mesure de la température de la jonction.

La durée de la mesure doit être très brève comparativement au temps de réponse thermique du dispositif mesuré, de telle sorte que celui-ci ne se refroidisse pas de façon appréciable pendant la mesure.

Le rapport entre la durée de la dissipation de puissance et la durée de la mesure devra être suffisamment grand de façon à ce que la puissance moyenne dissipée soit approximativement égale à la puissance dissipée dans l'intervalle de « service » (intervalle où la puissance est appliquée).

Des temps de 1 ms pour la mesure et de 20 ms à 40 ms pour le service ont donné satisfaction pour la majorité des transistors de faible puissance et de puissance. Dans le cas de l'adoption de cycles rapides de commutation et de courtes périodes d'arrêt, il faut prendre soin d'éviter les effets capacitifs et d'accumulation des porteurs de charge.

12.2.2 *Méthodes de commutation*

On peut utiliser suivant le cas:

- soit des procédés de commutation mécaniques (relais, commutateurs à moteur);
- soit des procédés électroniques.

Note. — Lorsque ces mesures sont effectuées sur des transistors de puissance, les courants élevés circulant dans les circuits émetteur et collecteur peuvent être gênants et il est alors préférable de faire la commutation dans le circuit de base.

12.2.3 *Procédés de mesure*

Deux procédés fondamentaux de mesure peuvent être utilisés:

Procédé 1:

Le dispositif est placé dans une enceinte à température variable et on mesure la valeur du paramètre sensible à la température en fonction de la température pour une dissipation de puissance négligeable à l'intérieur du dispositif. Le dispositif est alors placé dans une enceinte à température fixe et de la puissance lui est fournie. La température de jonction qui en résulte est obtenue en mesurant la valeur du paramètre sensible à la température.

The two parameters that are commonly used are:

- 1) The d.c. forward characteristic of the collector junction.
- 2) The d.c. forward characteristic of the emitter junction.

The forward voltage drop decreases with increase of temperature. Hence, the forward current at a fixed voltage or the forward voltage at a fixed current (or an intermediate condition) can be calibrated as a function of junction temperature.

The methods of measuring junction temperature require that very little power is dissipated in the transistor while the calibration is being carried out, in order that the junction temperature-sensitive parameter may be calibrated as a function of ambient temperature. Therefore, since power must be dissipated in the transistor, the measurement of thermal resistance requires a system of alternately applying power to the transistor and measuring the junction temperature.

It should be noted that this method of measurement assumes that there is the same uniform distribution of temperature over the junction when power is dissipated in the transistor as there is when the transistor is being calibrated. This assumption may not be valid.

12.2 *General procedure for thermal resistance measurements*

12.2.1 *Switching times*

Power is dissipated in the transistor for the majority of the time and is switched off for short periods to enable the junction temperature to be measured.

The measuring time must be short, compared to the thermal response time of the device being measured, so that the device does not cool appreciably during the temperature measurement.

The ratio of power dissipating time to measuring time should be sufficiently high so that the mean power dissipation is approximately equal to that dissipated in the “on” condition.

Measuring times of about 1 ms and “on” times of about 20 ms to 40 ms have been found suitable for most low power and power transistors. With fast switch-over times and short measuring periods, care should be taken to avoid capacitive and carrier storage effects.

12.2.2 *Switching methods*

The following methods may be used:

- mechanical switching techniques (i.e. relays, motor driven commutators);
- electronic switching techniques.

Note. — When measuring power transistors, the high currents flowing in the emitter and collector circuits can be troublesome, and it is preferable to carry out switching in the base circuit.

12.2.3 *Measurement procedure*

Two basic measurement procedures may be used:

Procedure 1:

The device is placed in a variable temperature enclosure and the value of the temperature-sensitive parameter is measured as a function of temperature with negligible power dissipated in the device. The device is then placed in a fixed temperature enclosure and power is supplied. The resultant junction temperature is obtained by measuring the value of the temperature-sensitive parameter.

La résistance thermique est donnée par:

$$R_{th} = \frac{t_j - t_{ref}}{P_1}$$

où:

t_{ref} est soit la température ambiante, soit la température de boîtier

P_1 est la puissance appliquée au dispositif, et est donnée par:

$$P_1 = I_C V_{CB} + I_E V_{EB}$$

Procédé II:

Le dispositif est placé dans une enceinte à température t_2 élevée et le paramètre sensible à la température est mesuré. Le dispositif est alors placé dans une enceinte à température t_1 moins élevée que la précédente, et on fournit de la puissance au dispositif jusqu'à ce que la température originale de la jonction (dans la première enceinte) soit atteinte; ainsi:

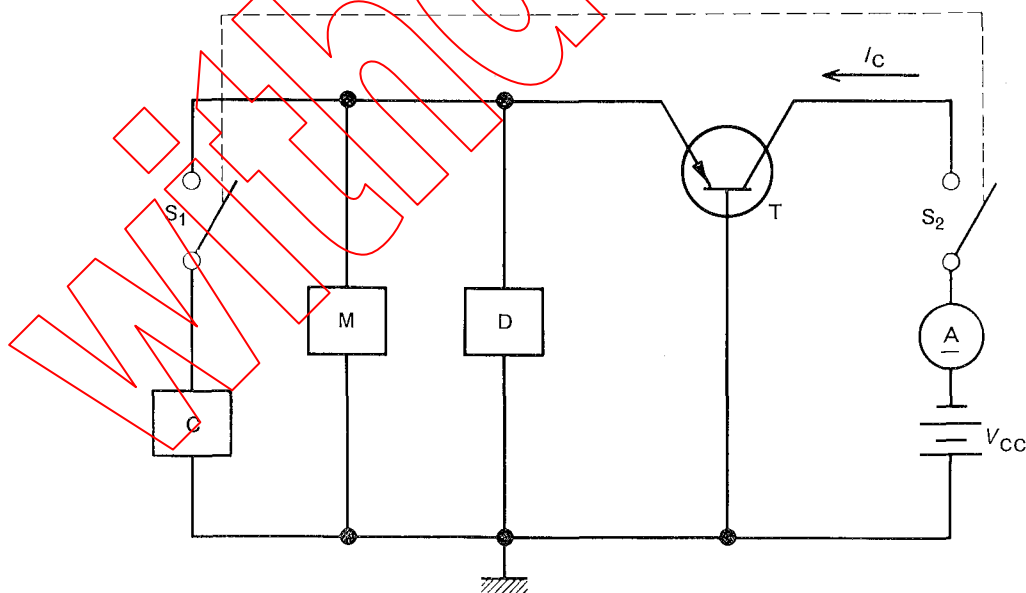
$$R_{th} = \frac{t_2 - t_1}{P_1}$$

12.3 Exemples de circuits pratiques

12.3.1 Méthode de la tension directe émetteur-base

Cette méthode convient particulièrement pour les transistors au germanium ou au silicium ayant un temps de réponse thermique relativement petit.

Les mesures de résistance thermique par cette méthode se font à l'aide du montage correspondant à la figure 3.



- C = source de courant constant (chauffage)
- D = détecteur
- M = source de courant constant (mesure)
- T = transistor mesuré

FIG. 3. — Circuit pour la mesure de la résistance thermique (méthode de V_{BE}).

The thermal resistance is given by:

$$R_{th} = \frac{t_j - t_{ref}}{P_1}$$

where:

t_{ref} is either the ambient temperature or the case temperature

P_1 is the power supplied to the device, and is given by:

$$P_1 = I_C V_{CB} + I_E V_{EB}$$

Procedure II:

The device is placed in an enclosure at an elevated temperature t_2 and the temperature-sensitive parameter is observed. The device is then transferred to an enclosure at a lower temperature t_1 and power is applied until the original value of the temperature-sensitive parameter is obtained; then:

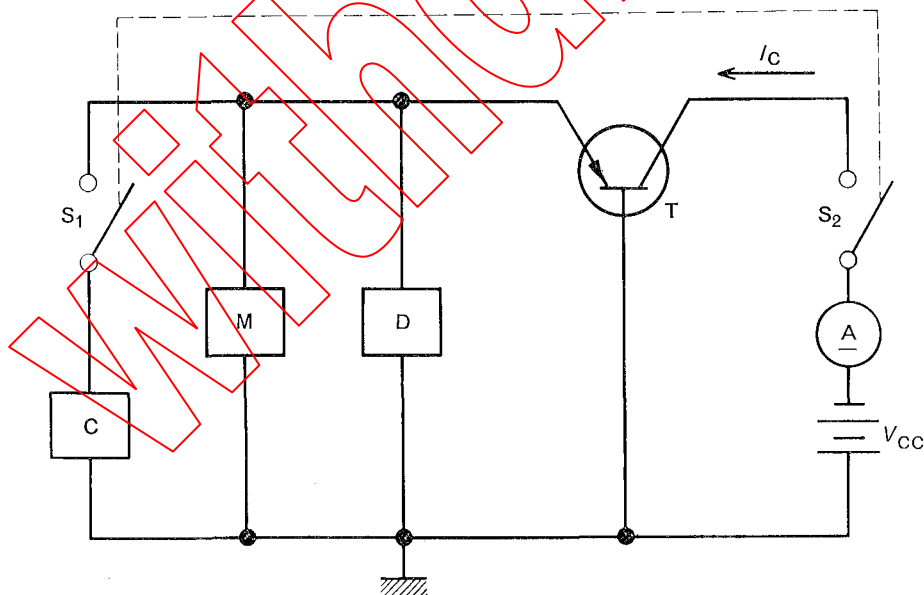
$$R_{th} = \frac{t_2 - t_1}{P_1}$$

12.3 Examples of practical circuits

12.3.1 Emitter-base forward voltage method

This method is particularly applicable to germanium or silicon transistors having relatively short thermal response times.

Thermal resistance measurements by this method are made using the circuit given in Figure 3.



- C = constant current source (heat)
- D = detector
- M = constant current source (measurement)
- T = transistor being measured

FIG. 3. — Circuit for the measurement of thermal resistance (V_{BE} method).

Le procédé de commutation est celui décrit au paragraphe 12.2.

L'interrupteur S_2 doit être synchronisé avec l'interrupteur S_1 .

Le courant constant utilisé pour la mesure sera faible (de l'ordre de quelques milliampères) et choisi de telle façon que l'amplitude de la tension V_{EB} varie approximativement de 2 mV/deg C de variation de la température de jonction.

La source de courant de chauffage est réglable.

Le procédé de mesure est soit du type I, soit du type II (voir paragraphe 12.2.3).

Un oscilloscope constitue un détecteur convenable.

V_{EB} doit être lue dès le début de l'intervalle de temps de mesure. Dans ce cas, une légère dissipation est provoquée dans le transistor par le courant constant utilisé pour la mesure.

Cependant, si P_1 est calculée comme la puissance de chauffage fournie par la source de courant de chauffage *seulement*, la résistance thermique R_{th} peut encore être déterminée par une des équations données au paragraphe 12.2.3.

12.3.2 Méthode de mesure de la tension directe collecteur-base

Cette méthode convient particulièrement pour les transistors au germanium ou au silicium ayant un temps de réponse thermique relativement long.

Les mesures de résistance thermique par cette méthode se font à l'aide du circuit indiqué par la figure 4.

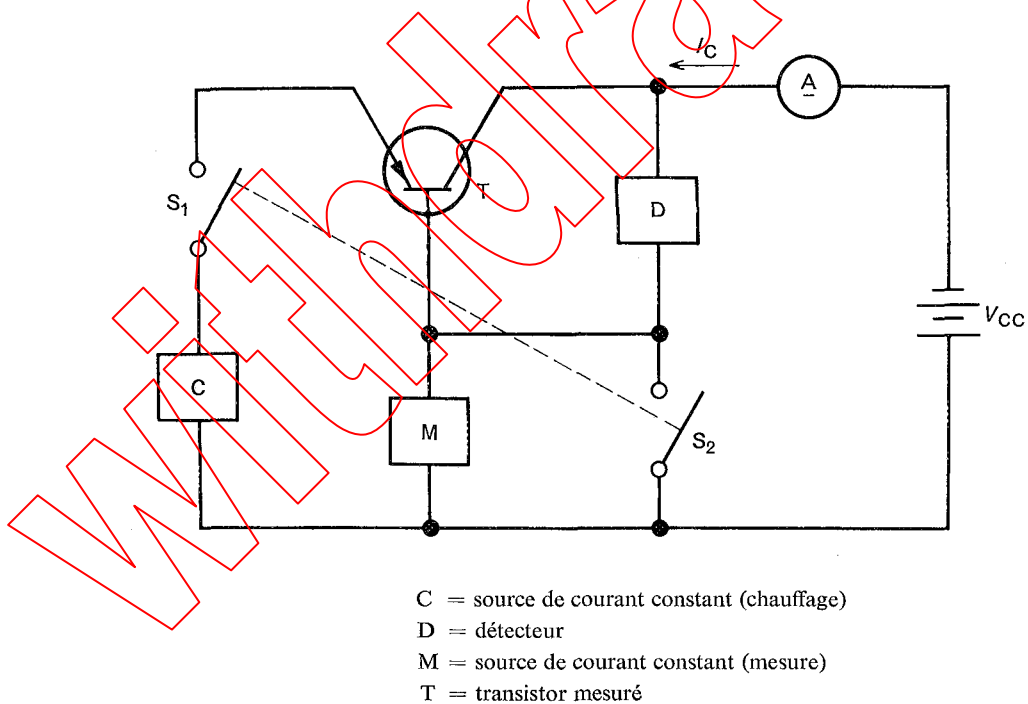


FIG. 4. — Circuit pour la mesure de la résistance thermique (méthode de V_{CB}).

Le procédé de commutation est celui décrit au paragraphe 12.2.

Le procédé de mesure est soit du type I, soit du type II (voir paragraphe 12.2.3).

La tension directe collecteur-base V_{CB} est déterminée au début de l'intervalle de temps de mesure.

The switching procedure is as described in Sub-clause 12.2.

Switch S_2 must be synchronous with switch S_1 .

The constant measurement current should be a small current (of the order of a few milliamperes), selected so that the magnitude of V_{EB} changes approximately 2 mV/deg C of junction temperature change.

The heating current source is adjustable.

The measurement procedure is either of Type I or Type II (see Sub-clause 12.2.3).

A convenient detector is an oscilloscope.

V_{EB} is to be read at the start of the measurement interval. In this case, a small power is dissipated in the transistor due to the constant measurement current.

However, if P_1 is calculated as the heating power contributed by the heating current source *only*, then the thermal resistance R_{th} can still be determined by one of the equations given in Sub-clause 12.2.3.

12.3.2 Collector-base forward voltage method

This method is particularly applicable to germanium or silicon transistors having relatively long thermal response times.

Thermal resistance measurements by this method are made using the circuit shown in Figure 4.

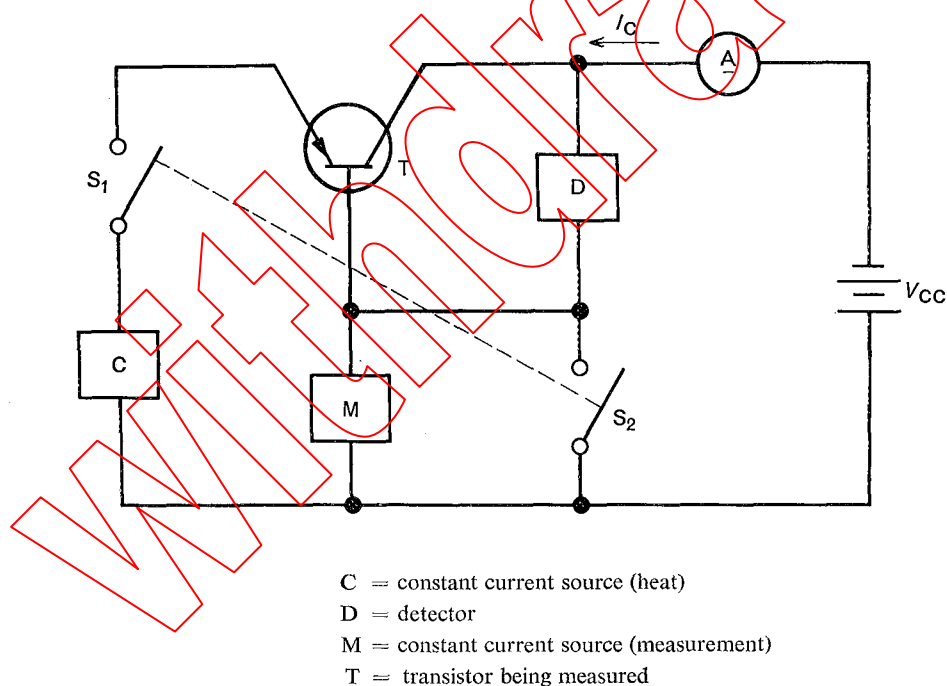


FIG. 4. — Circuit for the measurement of thermal resistance (V_{CB} method).

The switching procedure is as described in Sub-clause 12.2.

The measurement procedure is either of Type I or Type II (see Sub-clause 12.2.3).

The collector-base forward voltage V_{CB} is determined at the beginning of the measuring time interval.

Un oscilloscope constitue un détecteur convenable. On doit prendre soin de choisir le détecteur de telle manière qu'il soit suffisamment sensible pour permettre la détection des petites augmentations de tension directe, et qu'il puisse être à nouveau capable de détecter à l'issue d'un temps suffisamment court après la commutation de la tension collecteur inverse élevée.

La puissance de chauffage P_1 est ajustée par le réglage de la source de courant de chauffage dans le circuit émetteur.

13. Paramètres de commutation

Note d'introduction

Les méthodes décrites dans ce complément sont applicables aux transistors à jonctions alliées ayant une fréquence de transition s'élevant jusqu'à environ 30 MHz. Elles ne sont pas nécessairement applicables à toutes les classes de transistors et d'autres méthodes de mesure peuvent apparaître comme nécessaires.

13.1 Temps unité de croissance: τ_C

Le temps unité de croissance τ_C peut être obtenu par les mesures de la charge requise pour commuter le transistor de l'état bloqué à l'état passant (Q_{ON}), et de l'état passant à l'état bloqué (Q_{OFF}).

Ceci est basé sur le fait que:

$$Q_{ON} = |I_C| \tau_C + Q_V$$

où:

I_C est la valeur du courant collecteur à l'état passant

Q_V est la charge requise pour changer la tension de la capacité de transition du collecteur.

On suppose aussi que $Q_{OFF} \approx Q_{ON}$ quand le transistor n'est pas saturé.

τ_C peut être déterminé par la mesure de Q_{ON} au moyen de l'une des deux méthodes suivantes, mais:

- la méthode 1 convient pour une valeur spécifiée de V_{CE} ; et
- la méthode 2 convient pour la condition $V_{CB} = 0$.

Méthode 1

Le circuit fondamental pour la mesure de Q_{ON} et de Q_{OFF} est indiqué par la figure 5.

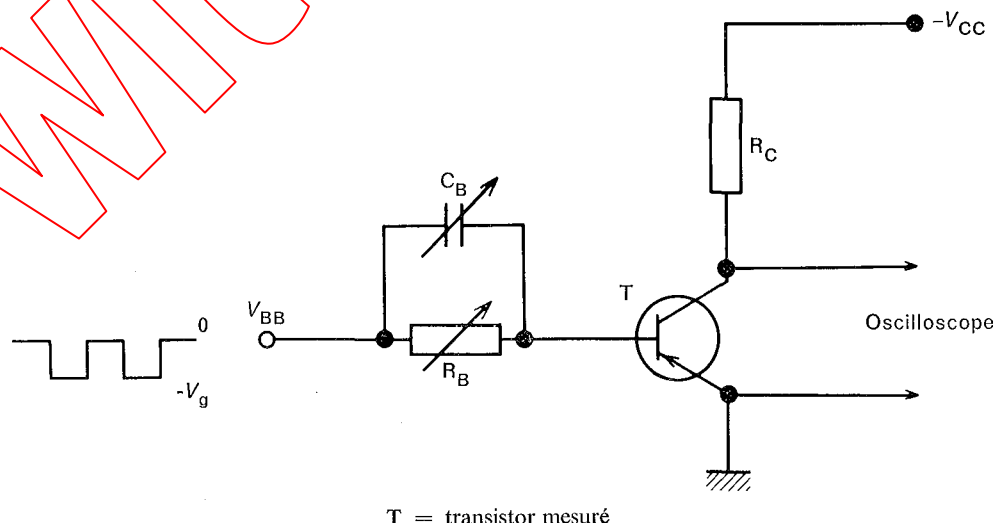


FIG. 5. — Circuit de mesure de Q_{ON} et de Q_{OFF} pour une valeur spécifiée de V_{CE} .

A convenient detector is an oscilloscope. Care must be taken in the choice of the detector as it should be sufficiently sensitive to permit detection of the small forward voltage increment and also recover in a sufficiently short time following switching of the large collector reverse voltage.

The heating power P_1 is adjusted by regulating the heating current source in the emitter circuit.

13. Switching parameters

Introductory note

The methods described in this supplement are applicable to alloy junction transistors having a transition frequency up to about 30 MHz. They are not necessarily applicable to all classes of transistors and other methods of measurement may also be necessary.

13.1 Collector time coefficient: τ_C

Collector time coefficient τ_C can be derived from measurements of the amount of charge required to switch the transistor from the off-state to the on-state (Q_{ON}), and from the on-state to the off-state (Q_{OFF}).

This is based on the fact that:

$$Q_{ON} = |I_C| \tau_C + Q_V$$

where:

I_C is the value of the collector current in the on-state

Q_V is the charge required to change the voltage of the collector depletion capacitance.

It is also assumed that $Q_{OFF} \approx Q_{ON}$ when the transistor is not taken into saturation.

τ_C can be determined from the measurement of Q_{ON} by either of the two following methods, but:

- Method 1 is suitable for a specified value V_{CE} ; and
- Method 2 is suitable for the condition $V_{CB} = 0$.

Method 1

The basic circuit for the measurement of Q_{ON} and Q_{OFF} is shown in Figure 5.

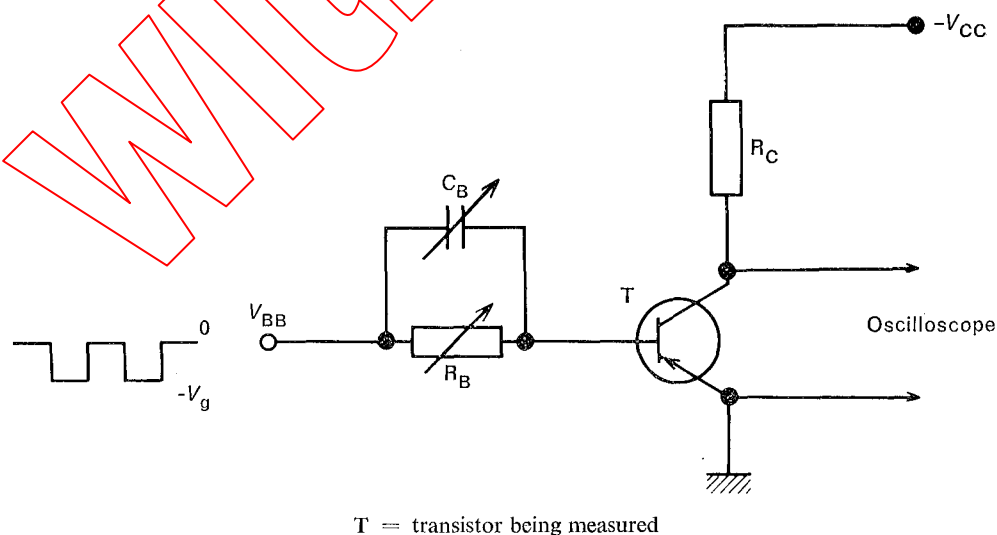


FIG. 5. — Circuit for the measurement of Q_{ON} and Q_{OFF} for a specified value of V_{CE} .

Pour faire la mesure, on règle R_B de façon à ce que V_{CE} soit égale à une valeur spécifiée pour l'état passant (ceci peut consister en un réglage statique avec une tension continue égale à $-V_g$ appliquée à R_B). C_B est alors réglé pour donner une onde de sortie carrée comme indiqué sur la figure 6 (courbe b).

Q_{OFF} est alors approximativement égal à Q_{ON} et:

$$Q_{OFF} \approx Q_{ON} = (|V_g| - |V_{BE}|) C_B$$

où:

V_{BE} est la tension base-émetteur à l'état passant.

Si l'excursion de la tension collecteur est maintenue à une petite valeur, de façon à ce que Q_V soit négligeable par rapport à $I_C \tau_C$, on a:

$$\tau_C = \frac{Q_{ON}}{I_C}$$

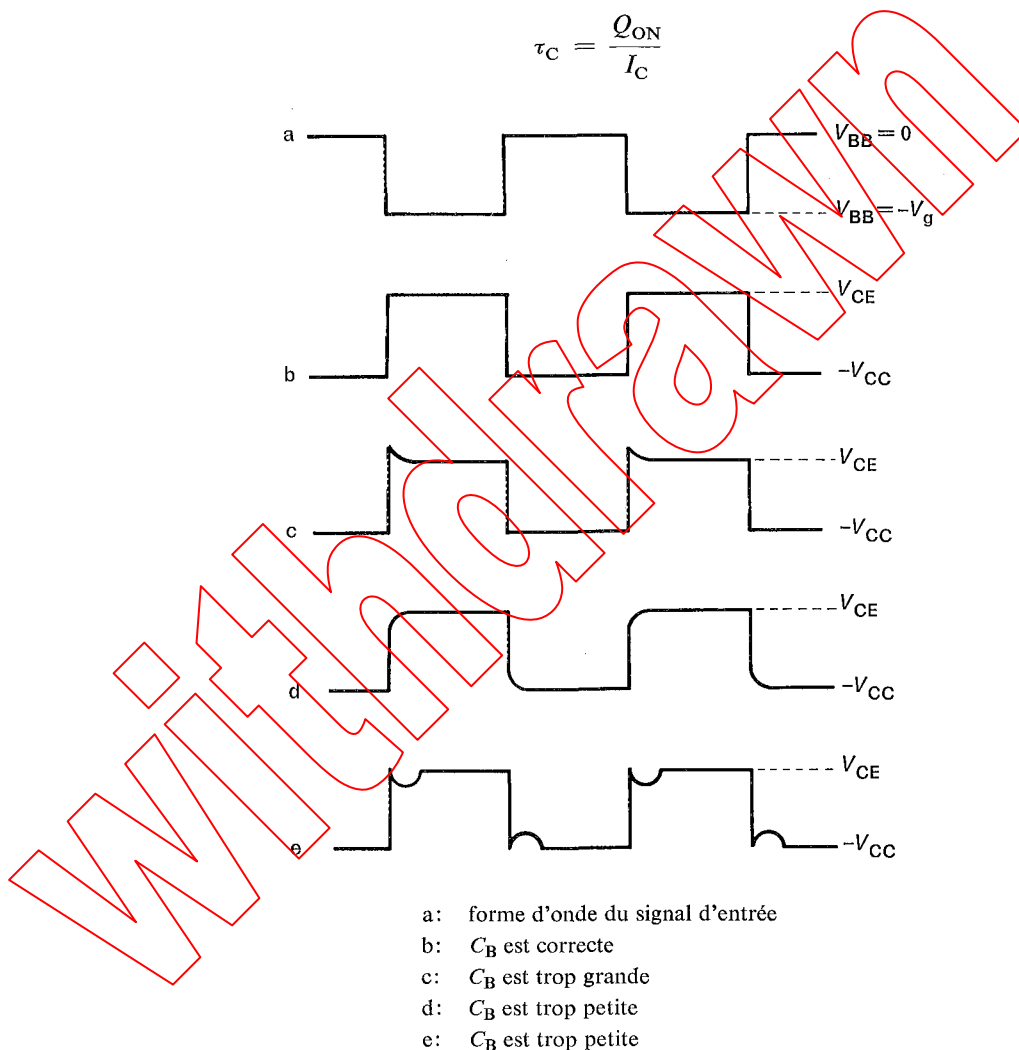


FIG. 6. — Formes d'onde pour la mesure de Q_{ON} et de Q_{OFF} avec une valeur spécifiée de V_{CE} .

Notes. — Les formes d'onde indiquées sur cette figure sont idéales, et en pratique le réglage du circuit peut impliquer un facteur subjectif.

Avec certains transistors, quand C_B est trop petite, on observe la forme d'onde de la figure 6 (courbe e) au lieu de celle de la figure 6 (courbe d). Dans ces cas, on doit augmenter C_B jusqu'à ce qu'on n'observe plus d'augmentation de V_{CE} après que V_{CE} a diminué jusqu'à $-V_{CC}$. Dans ces circonstances, la forme d'onde finale sera alors celle indiquée par la figure 6 (courbe b).

To make the measurement, R_B is adjusted so that V_{CE} equals a specified value in the on-state (this can be a static adjustment with a d.c. voltage equal to $-V_g$ applied to R_B). C_B is then adjusted to give a square wave output as shown in Figure 6 (curve b).

Then Q_{OFF} is approximately equal to Q_{ON} and:

$$Q_{OFF} \approx Q_{ON} = (|V_g| - |V_{BE}|) C_B$$

where:

V_{BE} is the base-emitter voltage in the on-state.

If the collector voltage swing is kept small, so that Q_v is negligible compared with $I_C \tau_C$, then:

$$\tau_C = \frac{Q_{ON}}{I_C}$$

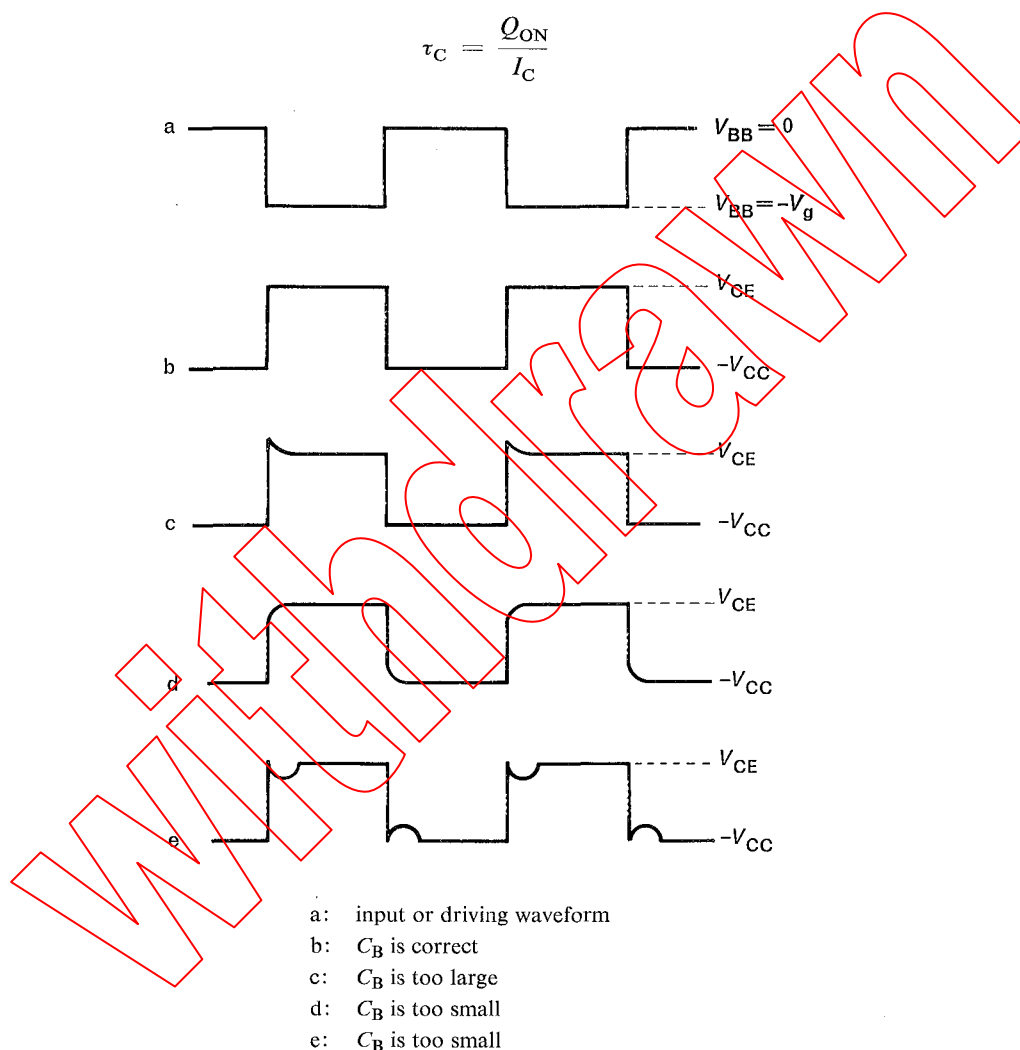


FIG. 6. — Waveforms in the measurement of Q_{ON} and Q_{OFF} for a specified value of V_{CE} .

Notes. — The waveforms shown in this figure are idealized and in practice the adjustment of the circuit may involve a subjective factor.

With some transistors, when C_B is too small, the waveform of Figure 6 (curve e) is observed instead of Figure 6 (curve d). In these cases C_B must be increased until no rise of V_{CE} is observed after V_{CE} has fallen to $-V_{CC}$. The final waveform should be shown in Figure 6 (curve b).

Méthode 2

Le circuit fondamental est donné par la figure 7. Une tension continue égale à $-V_g$ étant appliquée entre les points A et B, R_B est ajustée pour que la valeur de V_{CB} soit égale à zéro, mesurée avec un voltmètre à grande résistance V .

Des impulsions de tension rectangulaires sont alors appliquées entre A et B et l'on ajuste C_B pour qu'une impulsion rectangulaire soit observée sur l'oscilloscope. Pour ce réglage, $\tau_{CO} = C_B R_C$.

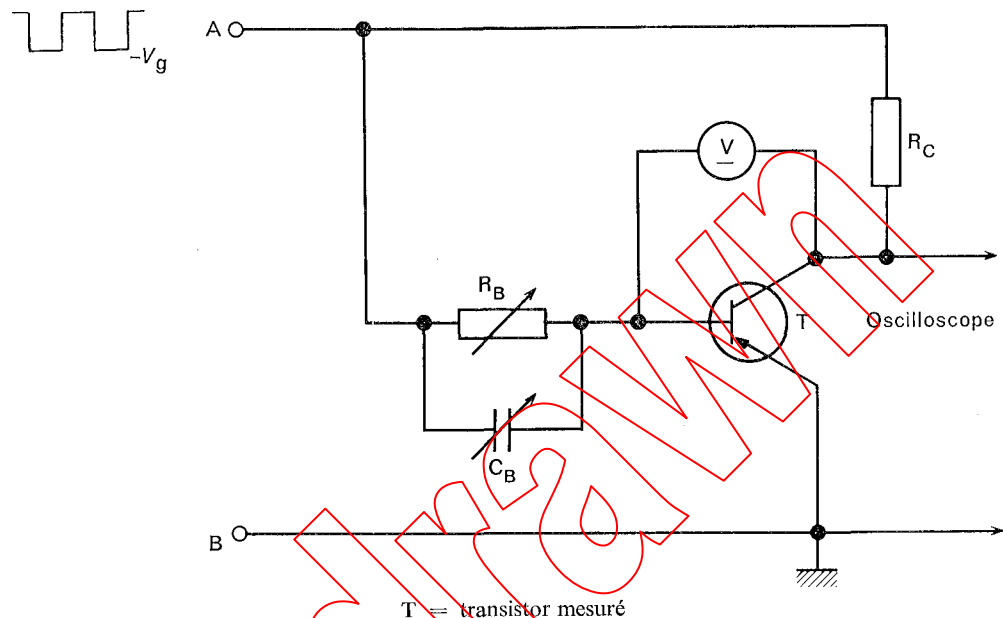


FIG. 7. — Circuit pour la mesure de Q_{ON} et de Q_{OFF} pour la condition $V_{CB} = 0$.

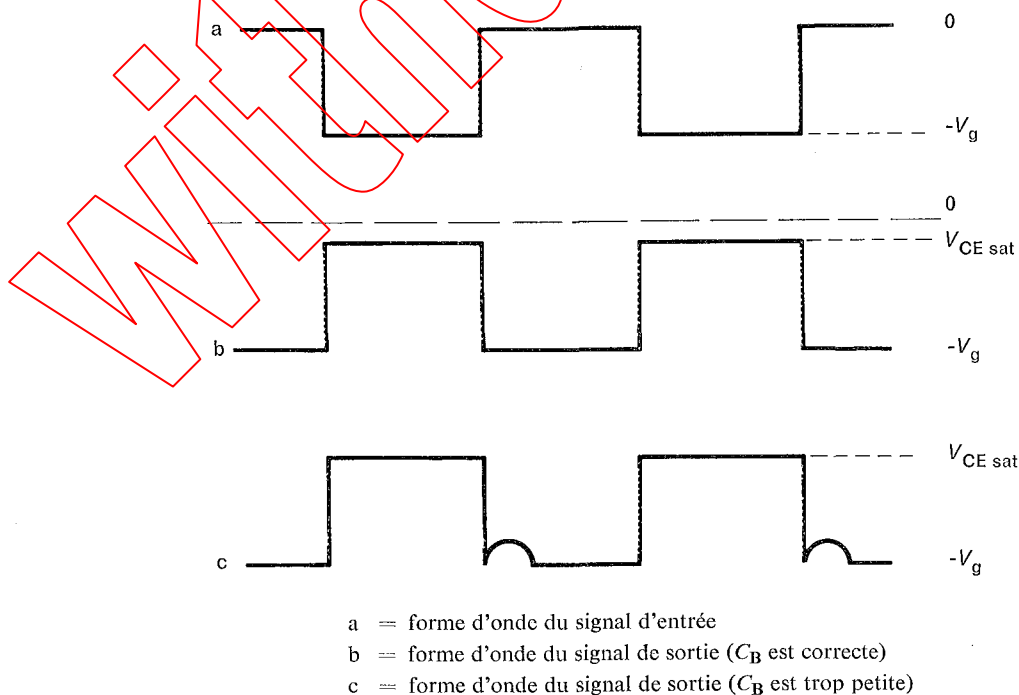


FIG. 8. — Formes d'onde pour la mesure de Q_{ON} et de Q_{OFF} avec la condition $V_{CB} = 0$.