

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60747-7

Deuxième édition
Second edition
2000-12

Dispositifs à semiconducteurs –

**Partie 7:
Transistors bipolaires**

Semiconductor devices –

**Part 7:
Bipolar transistors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60747-7:2000

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60747-7

Deuxième édition
Second edition
2000-12

Dispositifs à semiconducteurs –

**Partie 7:
Transistors bipolaires**

Semiconductor devices –

**Part 7:
Bipolar transistors**

© IEC 2000 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XE**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	10
Articles	
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives	14
3 Termes et définitions	16
3.1 Types de transistors bipolaires	16
3.2 Termes généraux	16
3.2.1 Régions physiques spécifiques (d'un transistor à jonctions)	16
3.2.2 Régions fonctionnelles spécifiques	18
3.3 Montages de circuit	20
3.4 Termes relatifs aux valeurs limites et aux caractéristiques	20
3.5 Paramètres s	30
3.5.1 Introduction générale	30
3.5.2 Définitions	34
3.5.3 Applications des paramètres s	36
4 Symboles littéraux	42
4.1 Symboles littéraux pour courants, tensions et puissances	42
4.1.1 Généralités	42
4.1.2 Indices additionnels	42
4.2 Symboles littéraux pour paramètres électriques	42
4.2.1 Généralités	42
4.2.2 Indices additionnels	42
4.3 Symboles littéraux pour autres grandeurs	42
4.3.1 Généralités	42
4.4 Liste de symboles littéraux	44
4.4.1 Tensions	44
4.4.2 Courants	46
4.4.3 Puissance	46
4.4.4 Paramètres électriques	46
4.4.5 Paramètres de fréquence	54
4.4.6 Paramètres de commutation	56
4.4.7 Grandeurs diverses	58
4.4.8 Paramètres relatifs au circuit externe	60
4.4.9 Transistors bipolaires appariés	60
5 Valeurs limites et caractéristiques essentielles	60
5.1 Transistors pour signaux de faible puissance (à l'exclusion des applications en commutation)	60
5.1.1 Généralités	60
5.1.2 Valeurs limites	62
5.1.3 Caractéristiques	62
5.1.4 Données d'application	72

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
Clause	
1 Scope	15
2 Normative references	15
3 Terms and definitions	17
3.1 Types of bipolar transistors	17
3.2 General terms	17
3.2.1 Specific physical regions (of a junction transistor)	17
3.2.2 Specific functional regions	19
3.3 Circuit configurations	21
3.4 Terms related to ratings and characteristics	21
3.5 s parameters	31
3.5.1 General introduction	31
3.5.2 Definitions	35
3.5.3 Application of the s parameters	37
4 Letter symbols	43
4.1 Letter symbols for currents, voltages and powers	43
4.1.1 General	43
4.1.2 Additional subscripts	43
4.2 Letter symbols for electric parameters	43
4.2.1 General	43
4.2.2 Additional subscripts	43
4.3 Letter symbols for other quantities	43
4.3.1 General	43
4.4 List of letter symbols	45
4.4.1 Voltages	45
4.4.2 Currents	47
4.4.3 Powers	47
4.4.4 Electrical parameters	47
4.4.5 Frequency parameters	55
4.4.6 Switching parameters	57
4.4.7 Sundry quantities	59
4.4.8 External circuit parameters	61
4.4.9 Matched-pair bipolar transistors	61
5 Essential ratings and characteristics	61
5.1 Low-power signal transistors (excluding switching applications)	61
5.1.1 General	61
5.1.2 Ratings (limiting values)	63
5.1.3 Characteristics	63
5.1.4 Application data	73

Articles	Pages
5.2 Transistors de puissance (à l'exclusion des applications en commutation et en haute fréquence).....	72
5.2.1 Généralités.....	72
5.2.2 Valeurs limites.....	74
5.2.3 Caractéristiques.....	76
5.2.4 Données d'applications.....	78
5.3 Transistors de puissance haute fréquence pour applications en amplificateurs et en oscillateurs.....	78
5.3.1 Type.....	78
5.3.2 Matériau du semiconducteur.....	78
5.3.3 Polarité.....	78
5.3.4 Encombrement.....	78
5.3.5 Valeurs limites (système des limites absolues) dans la gamme des températures de fonctionnement, sauf indication contraire.....	78
5.3.6 Caractéristiques.....	80
5.3.7 Informations supplémentaires.....	84
5.3.8 Informations relatives à l'environnement et/ou à l'endurance.....	84
5.4 Transistors de commutation.....	84
5.4.1 Généralités.....	84
5.4.2 Valeurs limites.....	84
5.4.3 Caractéristiques.....	88
5.4.4 Données d'applications.....	94
6 Méthodes de mesure générales et de référence.....	94
6.1 Méthodes de mesure générales.....	94
6.1.1 Généralités.....	94
6.1.2 Courants résiduels collecteur-base et émetteur-base.....	94
6.1.3 Courants résiduels collecteur-émetteur (méthode en courant continu) (I_{CEO} , I_{CER} , I_{CEX} , I_{CES}).....	94
6.1.4 Tension de saturation collecteur-émetteur (V_{CEsat}).....	96
6.1.5 Tension de saturation base-émetteur (V_{BEsat}).....	100
6.1.6 Tension base-émetteur (méthode en courant continu) (V_{BE}).....	104
6.1.7 Tension de maintien collecteur-émetteur ($V_{CEO(sus)}$, $V_{CER(sus)}$).....	106
6.1.8 Capacités.....	110
6.1.9 Paramètres hybrides (petits et forts signaux).....	114
6.1.10 Valeurs limites des tensions et caractéristiques mesurables limitant les tensions d'utilisation ($V_{(BR)CBO}$, $V_{(BR)EBO}$, $I_{S/B}$).....	130
6.1.11 Résistance thermique.....	136
6.1.12 Temps de commutation (t_d , t_r , t_{on} , t_s , t_f , t_{off}).....	158
6.1.13 Paramètres haute fréquence (f_T , C_{22b} , Re (h_{11e}), $y.e$, $s..$).....	162
6.1.14 Bruit (F).....	192
6.1.15 Méthodes de mesure pour les transistors bipolaires appariés.....	208
6.2 Méthodes de mesure de référence.....	212
6.2.1 Généralités.....	212
6.2.2 Courant résiduel collecteur-base (courant inverse) (I_{CBO}).....	214
6.2.3 Courant résiduel émetteur-base (courant inverse) (I_{EBO}).....	216
6.2.4 Tension de saturation collecteur-émetteur (V_{CEsat}).....	218
6.2.5 Tension de saturation base-émetteur (V_{BEsat}).....	224
6.2.6 Tension directe base-émetteur (V_{BE}).....	224

Clause	Page
5.2 Power transistors (excluding switching and high-frequency applications)	73
5.2.1 General.....	73
5.2.2 Ratings (limiting values).....	75
5.2.3 Characteristics.....	77
5.2.4 Application data	79
5.3 High-frequency power transistors for amplifier and oscillator applications	79
5.3.1 Type	79
5.3.2 Semiconductor material.....	79
5.3.3 Polarity	79
5.3.4 Outline	79
5.3.5 Limiting values (absolute maximum system) over the operating temperature range, unless otherwise stated.....	79
5.3.6 Characteristics.....	81
5.3.7 Supplementary information.....	85
5.3.8 Environmental and/or endurance test information.....	85
5.4 Switching transistors.....	85
5.4.1 General.....	85
5.4.2 Ratings (limiting values).....	85
5.4.3 Characteristics.....	89
5.4.4 Application data	95
6 General and reference measuring methods.....	95
6.1 General measuring methods.....	95
6.1.1 General.....	95
6.1.2 Collector-base and emitter-base cut-off currents	95
6.1.3 Collector-emitter cut-off currents (d.c. method) (I_{CEO} , I_{CER} , I_{CEX} , I_{CES})	95
6.1.4 Collector-emitter saturation voltage (V_{CESat})	97
6.1.5 Base-emitter saturation voltage (V_{BESat}).....	101
6.1.6 Base-emitter voltage (d.c. method) (V_{BE})	105
6.1.7 Collector-emitter sustaining voltage ($V_{CEO(sus)}$, $V_{CER(sus)}$).....	107
6.1.8 Capacitances.....	111
6.1.9 Hybrid parameters (small-signal and large-signal).....	115
6.1.10 Voltage ratings and measurable characteristics limiting the working voltages ($V_{(BR)CBO}$, $V_{(BR)EBO}$, $I_{S/B}$)	131
6.1.11 Thermal resistance	137
6.1.12 Switching times (t_d , t_r , t_{on} , t_s , t_f , t_{off}).....	159
6.1.13 High-frequency parameters (f_T , C_{22b} , $Re(h_{11e})$, $y.e$, $s..$).....	163
6.1.14 Noise (F).....	193
6.1.15 Measuring methods for matched-pair bipolar transistors.....	209
6.2 Reference measuring methods.....	213
6.2.1 General.....	213
6.2.2 Collector-base cut-off current (reverse current) (I_{CBO}).....	215
6.2.3 Emitter-base cut-off current (reverse current) (I_{EBO})	217
6.2.4 Collector-emitter saturation voltage (V_{CESat})	219
6.2.5 Base-emitter saturation voltage (V_{BESat}).....	225
6.2.6 Base-emitter forward voltage (V_{BE})	225

Articles	Pages
6.2.7 Valeur statique du rapport de transfert direct du courant en montage émetteur commun (h_{21E}) (méthode en courant continu).....	226
6.2.8 Rapport de transfert direct du courant en petits signaux et en montage émetteur commun en basse fréquence (h_{21E})	230
6.2.9 Paramètres de commutation.....	234
7 Réception et fiabilité – Essais d'endurance électriques	234
7.1 Exigences générales.....	234
7.2 Exigences spécifiques	234
7.2.1 Liste des essais d'endurance	234
7.2.2 Conditions pour les essais d'endurance	234
7.2.3 Critères de défaillance et caractéristiques définissant la défaillance pour les essais de réception.....	234
7.2.4 Critères de défaillance et caractéristiques définissant la défaillance pour les essais de fiabilité.....	234
7.2.5 Procédure à suivre dans le cas d'une erreur d'essai.....	234
Figure 1 – Caractéristique de l'impulsion d'un transistor de commutation	26
Figure 2 – Tension d'Early.....	30
Figure 3 – Circuit avec réseau ayant deux paires de bornes.....	32
Figure 4 – Circuit équivalent.....	68
Figure 5 – Circuit de base pour la mesure des courants résiduels collecteur-émetteur	94
Figure 6 – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation collecteur-émetteur (méthode en courant continu).....	96
Figure 7 – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation collecteur-émetteur (méthode en impulsions)	98
Figure 8a – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation base-émetteur (méthode en courant continu).....	100
Figure 8b – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation base-émetteur (méthode en impulsions)	102
Figure 9 – Circuit de base pour la mesure de la tension base-émetteur (méthode en courant continu).....	104
Figure 10 – Circuit de base pour la mesure de la tension de maintien collecteur-émetteur ..	106
Figure 11 – I_C en fonction de V_{CE}	108
Figure 12a – Transistor avec borne de base reliée au boîtier	110
Figure 12b – Transistor avec borne collecteur reliée au boîtier.....	110
Figure 12 – Circuit de base pour la mesure de la capacité de sortie en montage base commune utilisant un pont dipôle	110
Figure 13 – Circuit de base pour la mesure de C_{22b} utilisant un pont tripôle.....	112
Figure 14 – Circuit de base pour la mesure de C_{cb} utilisant un pont tripôle.....	114
Figure 15 – Circuit de base pour la mesure de h_{11e} et h_{21e}	116
Figure 16 – Circuit de base pour la mesure de h_{12e}	120
Figure 17 – Circuit de base pour la mesure de h_{22e}	122
Figure 18 – Circuit de base pour la mesure de h_{22b}	124
Figure 19 – Circuit de base pour la mesure de h_{21E}	128
Figure 20 – Circuit pour la mesure de $V_{(BR)CBO}$	132
Figure 21 – Circuit pour la mesure de $I_{S/B}$	134
Figure 22 – Circuit de base pour mesurer la résistance thermique des transistors NPN.....	142
Figure 23 – Courant émetteur (I_E) en fonction de la tension directe émetteur-base (V_{EB}) pour les températures de jonction $T_j^{(1)}$ et $T_j^{(2)}$	144

Clause	Page
6.2.7 Static value of common-emitter forward current transfer ratio (h_{21E}) (d.c. method)	227
6.2.8 Small-signal common-emitter forward current transfer ratio at low frequencies (h_{21E})	231
6.2.9 Switching parameters.....	235
7 Acceptance and reliability – Electrical endurance tests	235
7.1 General requirements	235
7.2 Specific requirements	235
7.2.1 List of endurance tests.....	235
7.2.2 Conditions for endurance tests.....	235
7.2.3 Failure-defining characteristics and failure criteria for acceptance tests ..	235
7.2.4 Failure-defining characteristics and failure criteria for reliability tests.....	235
7.2.5 Procedure in case of a testing error	235
Figure 1 – Switching transistor pulse characteristic	27
Figure 2 – Early voltage	31
Figure 3 – Circuit with four-pole network	33
Figure 4 – Equivalent circuit	69
Figure 5 – Basic circuit for the measurement of collector-emitter cut-off currents	95
Figure 6 – Basic circuit for the measurement of the collector-emitter saturation voltage (d.c. method).....	97
Figure 7 – Basic circuit for the measurement of the collector-emitter saturation voltage (pulse method)	99
Figure 8a – Basic circuit for the measurement of the base-emitter saturation voltage (d.c. method).....	101
Figure 8b – Basic circuit for the measurement of the base-emitter saturation voltage (pulse methods).....	103
Figure 9 – Base circuit for the measurement of base-emitter voltage (d.c. method)	105
Figure 10 – Basic circuit for the measurement of the collector-emitter sustaining voltage ...	107
Figure 11 – I_C versus V_{CE} characteristic	109
Figure 12a – Transistor with base terminal connected to case.....	111
Figure 12b – Transistor with collector terminal connected to case	111
Figure 12 – Basic circuit for the measurement of the common-base output capacitance using a two-terminal bridge	111
Figure 13 – Basic circuit for the measurement of C_{22b} using a three-terminal bridge	113
Figure 14 – Basic circuit for the measurement of C_{cb} using a three-terminal bridge	115
Figure 15 – Basic circuit for the measurement of h_{11e} and h_{21e}	117
Figure 16 – Basic circuit for the measurement of h_{12e}	121
Figure 17 – Basic circuit for the measurement of h_{22e}	123
Figure 18 – Basic circuit for the measurement of h_{22b}	125
Figure 19 – Basic circuit for the measurement of h_{21E}	129
Figure 20 – Circuit for the measurement of $V_{(BR)CBO}$	133
Figure 21 – Circuit for the measurement of $I_{S/B}$	135
Figure 22 – Basic test circuit for measuring the thermal resistance of NPN transistors	143
Figure 23 – Emitter current (I_E) versus emitter-base voltage (V_{EB}) for the junction temperatures $T_j^{(1)}$ and $T_j^{(2)}$	145

Figure 24 – Variation de I_E et V_{EB} en fonction du temps	144
Figure 25 – Coefficient de température ($\alpha_{V_{EB}}$) en fonction de la densité de courant émetteur typique (J_E)	152
Figure 26a – Section droite d'un transistor typique en boîtier métallique (cavité)	152
Figure 26b – Circuit thermique équivalent	154
Figure 27 – Exemple de caractéristique de la résistance thermique transitoire typique en fonction de la durée de l'impulsion d'échauffement	154
Figure 28 – Caractéristique ΔV_{EB} en fonction de la tension collecteur-base (V_{CB})	156
Figure 29 – Aire limite de fonctionnement (aire de sécurité) typique	158
Figure 30 – Schéma de mesure	160
Figure 31 – Temps de commutation.....	160
Figure 32 – Circuit pour la mesure de la fréquence de transition	164
Figure 33 – Schéma synoptique du circuit pour la mesure des composantes résistive et réactive de h_{11e}	170
Figure 34 – Circuit de l'adaptateur de la figure 33	170
Figure 35 – Circuit pour la mesure des paramètres complexes y en émetteur commun.....	172
Figure 36 – Circuit tripôle pour la mesure de y_{11e}	174
Figure 37 – Circuit tripôle pour la mesure de y_{22e}	176
Figure 38 – Circuit tripôle pour la mesure de y_{21e}	178
Figure 39 – Circuit tripôle pour la mesure de y_{12e}	180
Figure 40 – Schéma synoptique du circuit pour la mesure des paramètres s_{11} et s_{22}	182
Figure 41 – Schéma synoptique du circuit pour la mesure des paramètres s_{12} et s_{21}	188
Figure 42 – Schéma synoptique de base pour la mesure du facteur de bruit.....	194
Figure 43 – Circuit de base fondamental pour la mesure du facteur de bruit jusqu'à 3 MHz	198
Figure 44 – Circuit de base pour la mesure du facteur de bruit de 3 MHz à 300 MHz	200
Figure 45 – Circuit de base pour la mesure du facteur de bruit au-dessous de 1 kHz (méthode du générateur de signal)	204
Figure 46 – Circuit de base pour la mesure de h_{21E1}/h_{21E2}	208
Figure 47 – Circuit pour la mesure de I_{CBO}	214
Figure 48 – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation collecteur-émetteur (méthode en courant continu).....	218
Figure 49 – Circuit de base pour la mesure de la tension de saturation collecteur-émetteur (méthode par impulsion).....	220
Figure 50 – V_{CE} varie en fonction du temps.....	222
Figure 51 – Circuit de base pour la mesure de la tension directe base-émetteur	224
Figure 52 – Circuit de base pour la mesure de h_{21E} (méthode en courant continu)	226
Figure 53 – Circuit de base pour la mesure de h_{21E} en basse fréquence	230
Tableau 1 – Caractéristiques définissant la défaillance pour réception après les essais d'endurance	236
Tableau 2 – Conditions pour les essais d'endurance	238

	Page
Figure 24 – I_E and V_{EB} change with time	145
Figure 25 – Temperature coefficient (αV_{EB}) versus typical emitter current density (J_E).....	153
Figure 26a – Cross-section of a typical transistor in metallic case (cavity).....	153
Figure 26b – Thermal equivalent circuit.....	155
Figure 27 – Typical transient thermal resistance characteristic versus heating pulse duration	155
Figure 28 – Typical ΔV_{EB} versus collector-base (V_{CB}) characteristic	157
Figure 29 – Typical safe operating area.....	159
Figure 30 – Circuit diagram	161
Figure 31 – Switching times	161
Figure 32 – Circuit for the measurement of the transition frequency	165
Figure 33 – Block-diagram of the circuit for the measurement of the resistive and reactive components of h_{11e}	171
Figure 34 – Circuit of the adaptor shown in figure 33.....	171
Figure 35 – Circuit for the measurement of complex common-emitter y parameters.....	173
Figure 36 – Three-pole circuit for the measurement of y_{11e}	175
Figure 37 – Three-pole circuit for the measurement of y_{22e}	177
Figure 38 – Three-pole circuit for the measurement of y_{21e}	179
Figure 39 – Three-pole circuit for the measurement of y_{12e}	181
Figure 40 – Block diagram of the circuit for the measurement of s_{11} and s_{22} parameters....	183
Figure 41 – Block diagram of the circuit for the measurement of s_{12} and s_{21} parameters....	189
Figure 42 – Basic block diagram for the measurement of the noise figure.....	195
Figure 43 – Basic circuit for the measurement of the noise figure up to 3 MHz	199
Figure 44 – Basic circuit for the measurement of the noise figure from 3 MHz to 300 MHz .	201
Figure 45 – Basic circuit for the measurement of the noise figure below 1 kHz (signal generator method)	205
Figure 46 – Basic circuit for the measurement of h_{21E1}/h_{21E2}	209
Figure 47 – Circuit for the measurement of I_{CBO}	215
Figure 48 – Basic circuit for the measurement of the collector-emitter saturation voltage (d.c. method).....	219
Figure 49 – Basic circuit for the measurement of the collector-emitter saturation voltage (pulse method).....	221
Figure 50 – V_{CE} changes with time	223
Figure 51 – Basic circuit for the measurement of the base-emitter forward voltage.....	225
Figure 52 – Basic circuit for the measured of h_{21E} (d.c. method)	227
Figure 53 – Basic circuit for the measurement of h_{21E} at low frequencies.....	231
Table 1 – Failure-defining characteristics for acceptance after endurance tests.....	237
Table 2 – Conditions for endurance tests	239

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –

Partie 7: Transistors bipolaires

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60747-7 a été établie par le sous-comité 47E: Dispositifs discrets à semiconducteurs, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1988, son amendement 1 (1991) et son amendement 2 (1994). Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 60747-1.

Le texte de cette norme est issu de la première édition, de l'amendement 1, de l'amendement 2 et des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47E/150/FDIS	47E/162/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES –

Part 7: Bipolar transistors

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60747-7 has been prepared by subcommittee 47E: Discrete semiconductor devices, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1988, its amendments 1 (1991) and 2 (1994). This second edition constitutes a technical revision.

This standard is to be read in conjunction with IEC 60747-1.

The text of this standard is based on the first edition, amendment 1, amendment 2 and the following documents:

FDIS	Report on voting
47E/150/FDIS	47E/162/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2003.
A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Withdrawn

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2003.
At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Withdrawn

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –

Partie 7: Transistors bipolaires

Note d'introduction

La présente publication est utilisée avec la CEI 60747-1 qui donne les informations de base sur:

- la terminologie;
- les symboles littéraux;
- les valeurs limites et caractéristiques essentielles;
- les méthodes de mesure;
- la réception et la fiabilité.

1 Domaine d'application

La présente norme donne les exigences applicables aux sous-catégories suivante de transistors bipolaires:

- transistors pour signaux de faible puissance (à l'exclusion des applications en commutation);
- transistors de puissance (à l'exclusion des applications en commutation et en haute fréquence);
- transistors de puissance haute fréquence pour applications en amplificateurs et en oscillateurs;
- transistors de commutation.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60747. Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60747 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60747-1:1983, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets et circuits intégrés – Partie 1: Généralités*
Amendement 3 (1996)

SEMICONDUCTOR DEVICES –

Part 7: Bipolar transistors

Introductory note

As a rule, it will be necessary to use IEC 60747-1 together with the present publication. In IEC 60747-1, the user will find all basic information on:

- terminology;
- letter symbols;
- essential ratings and characteristics;
- measuring methods;
- acceptance and reliability.

1 Scope

The present standard gives the requirements applicable to the following sub-categories of bipolar transistors:

- low power signal transistors (excluding switching applications);
- power transistors (excluding switching and high-frequency applications);
- high-frequency power transistors for amplifier and oscillator applications;
- switching transistors.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60747. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60747 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60747-1:1983, *Semiconductor devices – Discrete devices and integrated circuits – Part 1: General*
Amendment 3 (1996)

3 Termes et définitions

3.1 Types de transistors bipolaires

3.1.1

transistor à jonctions

transistor possédant une région de base et deux ou plusieurs jonctions

NOTE Le fonctionnement d'un transistor à jonctions dépend de l'injection de porteurs minoritaires dans la région base.

3.1.2

transistor bidirectionnel

transistor qui a sensiblement les mêmes caractéristiques électriques lorsque les bornes normalement désignées comme émetteur et collecteur sont interchangées

NOTE Les transistors bidirectionnels sont souvent appelés transistors symétriques. Ce terme est, cependant, déconseillé car il peut donner la fausse idée d'un transistor idéalement symétrique.

3.1.3

transistor tétrade

transistor à quatre électrodes, généralement un transistor conventionnel à jonctions, ayant deux électrodes de base séparées et deux bornes de base

3.2 Termes généraux

3.2.1 Régions physiques spécifiques (d'un transistor à jonctions)

3.2.1.1

région collecteur

région physique conçue par le fabricant pour contenir la région collectrice en mode de fonctionnement normal et qui, dans un transistor discret simple, est accessible extérieurement par la borne du collecteur désignée

3.2.1.2

région émetteur

région physique conçue par le fabricant pour contenir la région d'alimentation en mode de fonctionnement normal et qui, dans un transistor discret simple, est accessible extérieurement par la borne d'émetteur désignée

3.2.1.3

région base

région physique située entre la jonction collecteur et la jonction émetteur, comprenant la région de commande et qui, dans un transistor discret simple, est accessible extérieurement par la borne de base désignée

3.2.1.4

jonction collecteur(-base)

région de transition située entre la région collecteur et la région base

3.2.1.5

jonction émetteur(-base)

région de transition située entre la région émetteur et la région base

3 Terms and definitions

3.1 Types of bipolar transistors

3.1.1

junction transistor

transistor having a base region and two or more junctions

NOTE The operation of a junction transistor depends upon the injection of minority carriers into the base region.

3.1.2

bi-directional transistor

transistor which has substantially the same electrical characteristics when the terminals normally designated as emitter and collector are interchanged

NOTE Bi-directional transistors are sometimes called symmetrical transistors. This term, however, is deprecated as it might give the incorrect impression of an ideally symmetrical transistor.

3.1.3

tetrode transistor

four-electrode transistor, usually a conventional junction transistor having two separate base electrodes and two base terminals

3.2 General terms

3.2.1 Specific physical regions (of a junction transistor)

3.2.1.1

collector region

physical region that is designed by the manufacturer to contain in the normal operating mode the collection region and which, in a simple discrete transistor, is externally accessible by the designated collector terminal

3.2.1.2

emitter region

physical region that is designed by the manufacturer to contain in the normal operating mode the supply region and which, in a simple discrete transistor, is externally accessible by the designated emitter terminal

3.2.1.3

base region

physical region located between the collector junction and the emitter junction and containing the control region and which, in a simple discrete transistor, is externally accessible by the designated base terminal

3.2.1.4

collector(-base) junction

transition region between the collector region and the base region

3.2.1.5

emitter(-base) junction

transition region between the emitter region and the base region

3.2.1.6

borne du collecteur

point de connexion spécifié, accessible extérieurement, relié à l'électrode collecteur et à la région collecteur

3.2.1.7

borne de l'émetteur

point de connexion spécifié, accessible extérieurement, relié à l'électrode émetteur et à la région émetteur

3.2.1.8

borne de base

point de connexion spécifié, accessible extérieurement, relié à l'électrode de base et à la région base

3.2.2 Régions fonctionnelles spécifiques

3.2.2.1

région collecteur fonctionnelle

région collecteur qui capte les porteurs de charge du courant principal de la région base fonctionnelle passant par la jonction (collectrice) située entre elle et la région base fonctionnelle

NOTE En mode de fonctionnement normal, cette région fonctionnelle est située dans la région collecteur et, en mode de fonctionnement inverse, dans la région émetteur.

3.2.2.2

région émetteur fonctionnelle

région d'alimentation qui fournit les porteurs de charge du courant principal à la région base fonctionnelle à travers la jonction (émettrice) située entre elle et la région base fonctionnelle

NOTE En mode de fonctionnement normal, cette région fonctionnelle est située dans la région émetteur et, en mode de fonctionnement inverse, dans la région collecteur.

3.2.2.3

région base fonctionnelle

région de commande traversée par le courant principal et dans laquelle la concentration des porteurs de charge du courant principal provient du courant de base qui y est appliqué

3.2.2.4

région de charge d'espace collecteur(-base);

couche de déplétion collecteur(-base)

région de charge d'espace située entre la région collecteur fonctionnelle et la région base fonctionnelle

3.2.2.5

région de charge d'espace émetteur(-base)

couche de déplétion émetteur(-base)

région de charge d'espace située entre la région émetteur fonctionnelle et la région base fonctionnelle

3.2.1.6**collector terminal**

specified externally available point of connection to the collector electrode and collector region

3.2.1.7**emitter terminal**

specified externally available point of connection to the emitter electrode and emitter region

3.2.1.8**base terminal**

specified externally available point of connection to the base electrode and base region

3.2.2 Specific functional regions**3.2.2.1****functional collector region**

collection region that acquires principal-current charge carriers from the functional base region through the (collecting) junction between it and the functional base region

NOTE In the normal operating mode, this functional region is located in the collector region and, in the inverse operating mode, in the emitter region.

3.2.2.2**functional emitter region**

supply region that delivers principal-current charge carriers into the functional base region through the (emitting) junction between it and the functional base region

NOTE In the normal operating mode, this functional region is located in the emitter region and, in the inverse operating mode, in the collector region.

3.2.2.3**functional base region**

control region through which the principal current passes and in which the concentration of principal-current charge carriers is the result of an applied base current

3.2.2.4**collector(-base) space-charge region;
collector(-base) depletion layer**

space-charge region between the functional collector region and the functional base region

3.2.2.5**emitter(-base) space-charge region;
emitter(-base) depletion layer**

space-charge region between the functional emitter region and the functional base region

3.3 Montages de circuit

3.3.1

base commune

montage de circuit dans lequel la borne de base est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle de l'émetteur et la borne de sortie, celle du collecteur

3.3.2

base commune inverse

montage de circuit dans lequel la borne de base est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle du collecteur et la borne de sortie, celle de l'émetteur

3.3.3

collecteur commun

montage de circuit dans lequel la borne du collecteur est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle de la base et la borne de sortie, celle de l'émetteur

3.3.4

collecteur commun inverse

montage de circuit dans lequel la borne du collecteur est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle de l'émetteur et la borne de sortie, celle de la base

3.3.5

émetteur commun

montage de circuit dans lequel la borne de l'émetteur est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle de la base et la borne de sortie, celle du collecteur

3.3.6

émetteur commun inverse

montage de circuit dans lequel la borne de l'émetteur est commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie et dans lequel la borne d'entrée est celle du collecteur et la borne de sortie, celle de la base

3.4 Termes relatifs aux valeurs limites et aux caractéristiques

3.4.1

tension de pénétration

valeur de la tension collecteur-base au-delà de laquelle la tension émetteur-base en circuit ouvert augmente presque linéairement lorsque la tension collecteur-base augmente

NOTE 1 A cette tension, la couche diélectrique du collecteur s'étend à travers la base jusqu'à la couche diélectrique de l'émetteur.

NOTE 2 «Reach-through voltage» est un terme également utilisé aux Etats-Unis d'Amérique.

3.3 Circuit configurations

3.3.1

common base

circuit configuration in which the base terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the emitter terminal and the output terminal is the collector terminal

3.3.2

inverse common base

circuit configuration in which the base terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the collector terminal and the output terminal is the emitter terminal

3.3.3

common collector

circuit configuration in which the collector terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the base terminal and the output terminal is the emitter terminal

3.3.4

inverse common collector

circuit configuration in which the collector terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the emitter terminal and the output terminal is the base terminal

3.3.5

common emitter

circuit configuration in which the emitter terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the base terminal and the output terminal is the collector terminal

3.3.6

inverse common emitter

circuit configuration in which the emitter terminal is common to the input circuit and to the output circuit and in which the input terminal is the collector terminal and the output terminal is the base terminal

3.4 Terms related to ratings and characteristics

3.4.1

punch-through voltage

value of the collector-base voltage above which the open-circuit emitter-base voltage increases almost linearly with increasing collector-base voltage

NOTE 1 At this voltage, the collector depletion layer extends through the base to the emitter depletion layer.

NOTE 2 "Reach-through voltage" is a term also in the USA.

3.4.2 **tensions de saturation**

3.4.2.1 **tension de saturation collecteur-émetteur**

tension entre les électrodes du collecteur et de l'émetteur dans des conditions de courant de base ou de tension base-émetteur au-delà de laquelle le courant collecteur demeure pratiquement constant quand le courant ou la tension de base augmente

NOTE Cette tension est la tension entre les électrodes du collecteur et de l'émetteur quand les jonctions base-émetteur et base-collecteur sont toutes deux polarisées en direct.

3.4.2.2 **tension de saturation base-émetteur**

tension entre les électrodes de base et de l'émetteur dans des conditions de courant de base ou de tension base-émetteur au-delà de laquelle le courant collecteur demeure pratiquement constant quand le courant ou la tension de base augmente

NOTE Cette tension est la tension entre les électrodes de la base et de l'émetteur quand les jonctions base-émetteur et base-collecteur sont toutes deux polarisées en direct.

3.4.3 **courant résiduel**

courant inverse de la jonction collecteur-base (ou émetteur-base) quand l'émetteur (ou le collecteur) est en circuit ouvert, la tension inverse étant spécifiée

3.4.4 **résistance série du collecteur**

résistance entre la borne du collecteur et le point interne inaccessible du collecteur dans un circuit équivalent

3.4.5 **résistance série de l'émetteur**

résistance entre la borne de l'émetteur et le point interne inaccessible de l'émetteur dans un circuit équivalent

3.4.6 **résistance de saturation**

résistance entre les bornes du collecteur et de l'émetteur dans des conditions spécifiées de courant de base et de courant collecteur lorsque ce dernier est limité par le circuit extérieur

NOTE La résistance de saturation peut être déterminée soit comme le rapport entre la tension totale et le courant total, soit comme le rapport entre la tension différentielle et le courant différentiel; la méthode de détermination sera indiquée.

3.4.7 **résistance extrinsèque de base**

résistance entre la borne de la base et le point interne inaccessible de la base dans un circuit équivalent

3.4.8 **capacité de transition de l'émetteur**

portion de la capacité d'une jonction émetteur-base qui est associée à sa couche diélectrique

NOTE La capacité de transition de l'émetteur est fonction de la différence totale de potentiel dans la couche diélectrique.

3.4.2 saturation voltages

3.4.2.1 collector-emitter saturation voltage

voltage between the collector and emitter electrodes under conditions of base current or base-emitter voltage beyond which the collector current remains essentially constant as the base current or voltage is increased

NOTE This is the voltage between the collector and emitter electrodes when both the base-emitter and base-collector junctions are forward biased.

3.4.2.2 base-emitter saturation voltage

voltage between the base and emitter electrodes under conditions of base current or base-emitter voltage beyond which the collector current remains essentially constant as the base current or voltage is increased

NOTE This is the voltage between the base and emitter electrodes when both the base-emitter and base-collector junctions are forward biased.

3.4.3 cut-off current (reverse current)

reverse current of the base-collector junction (or base-emitter junction) when the emitter (or the collector) is open-circuited, the reverse voltage being specified

3.4.4 collector series resistance

resistance between the collector terminal and the internal inaccessible collector point in an equivalent circuit

3.4.5 emitter series resistance

resistance between the emitter terminal and the internal inaccessible emitter point in an equivalent circuit

3.4.6 saturation resistance

resistance between collector and emitter terminals under specified conditions of base current and collector current when the collector current is limited by the external circuit

NOTE The saturation resistance may be determined either as the ratio of total voltage to total current or as the ratio of differential voltage to differential current; the method of determination has to be specified.

3.4.7 extrinsic base resistance

resistance between the base terminal and the internal inaccessible base point in an equivalent circuit

3.4.8 emitter depletion layer capacitance

part of the capacitance across an emitter-base junction that is associated with its depletion layer

NOTE The emitter depletion layer capacitance is a function of the total potential difference across the depletion layer.

3.4.9

capacité de transition du collecteur

portion de la capacité d'une jonction collecteur-base qui est associée à sa couche diélectrique

NOTE La capacité de transition du collecteur est fonction de la différence totale de potentiel dans la couche diélectrique.

3.4.10

retard à la croissance (d'un transistor de commutation)

temps écoulé entre l'application, aux bornes d'entrée, d'une impulsion qui commute le transistor d'un état non conducteur à un état conducteur et l'apparition, aux bornes de sortie, de l'impulsion due aux porteurs de charge

NOTE Ce temps est habituellement mesuré entre les points correspondants à 10 % de l'amplitude de l'impulsion appliquée et à 10 % de l'amplitude de l'impulsion à la sortie (voir figure 1).

3.4.11

temps de croissance (d'un transistor de commutation)

temps écoulé entre les instants où la grandeur de l'impulsion aux bornes de sortie atteint respectivement des limites inférieure et supérieure spécifiées, quand le transistor est commuté de son état non conducteur à son état conducteur

NOTE Les limites inférieure et supérieure sont habituellement 10 % et 90 % respectivement de l'amplitude de l'impulsion à la sortie (voir figure 1).

3.4.12

retard à la décroissance (d'un transistor de commutation)

temps écoulé entre le début de la décroissance de l'impulsion appliquée aux bornes d'entrée et le début de la décroissance de l'impulsion engendrée par les porteurs de charge aux bornes de sortie

NOTE Ce temps est habituellement mesuré entre les valeurs à 90 % des amplitudes des deux impulsions (voir figure 1).

3.4.13

temps de décroissance (d'un transistor de commutation)

temps écoulé entre les instants où la grandeur de l'impulsion aux bornes de sortie atteint respectivement des limites supérieure et inférieure spécifiées, quand le transistor est commuté de son état conducteur à son état non conducteur

NOTE Les limites supérieure et inférieure sont habituellement 90 % et 10 % respectivement de l'amplitude de l'impulsion à la sortie (voir figure 1).

3.4.9**collector depletion layer capacitance**

part of the capacitance across a collector-base junction that is associated with its depletion layer

NOTE The depletion layer capacitance is a function of the total potential difference across the depletion layer.

3.4.10**delay-time (of a switching transistor)**

time interval between the application at the input terminals of a pulse which is switching the transistor from a non-conducting to a conducting state and the appearance at the output terminals of the pulse induced by the charge carriers

NOTE The time is usually measured between points corresponding to 10 % of the amplitude of the applied pulse and of the output pulse respectively (see figure 1).

3.4.11**rise time (of a switching transistor)**

time interval between the instants at which the magnitude of the pulse at the output terminals reaches specified lower and upper limits, respectively, when the transistor is being switched from its non-conducting to its conducting state

NOTE The lower and upper limits are usually 10 % and 90 % respectively of the amplitude of the output pulse (see figure 1).

3.4.12**carrier storage time (of a switching transistor)**

time interval between the beginning of the fall of the pulse applied to the input terminals and the beginning of the fall of the pulse generated by charge carriers at the output terminals

NOTE The time is generally measured between the 90 % values of the two pulse amplitudes (see figure 1).

3.4.13**fall time (of a switching transistor)**

time interval between the instants at which the magnitude of the pulse at the output terminals reaches specified upper and lower limits respectively, when the transistor is being switched from its conducting to its non-conducting state

NOTE The upper and lower limits are usually 90 % and 10 % respectively of the amplitude of the output pulse (see figure 1).

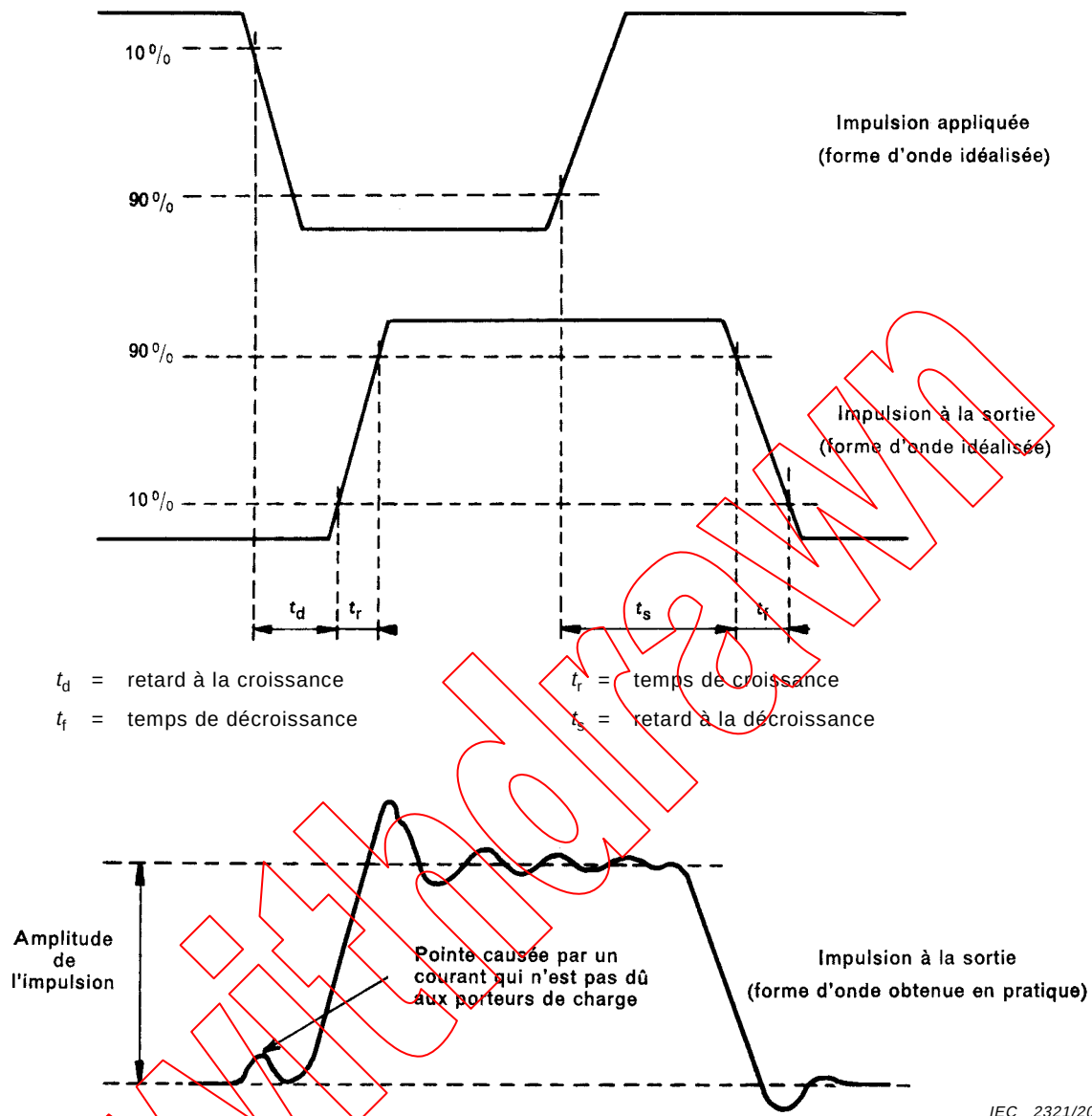


Figure 1 – Caractéristique de l'impulsion d'un transistor de commutation

3.4.14

fréquence maximale d'oscillation

fréquence maximale à laquelle on peut faire osciller un transistor dans des conditions spécifiées

NOTE Cette fréquence se rapproche de celle à laquelle le gain en puissance disponible maximal a diminué jusqu'à l'unité.

3.4.15

fréquence de transition (f_T)

produit du module du rapport de transfert direct du courant, sortie en court-circuit, pour de petits signaux, en montage émetteur commun $|h_{21e}|$ par la fréquence de mesure, cette fréquence étant choisie de telle façon que $|h_{21e}|$ décroisse sensiblement à raison de 6 dB par octave

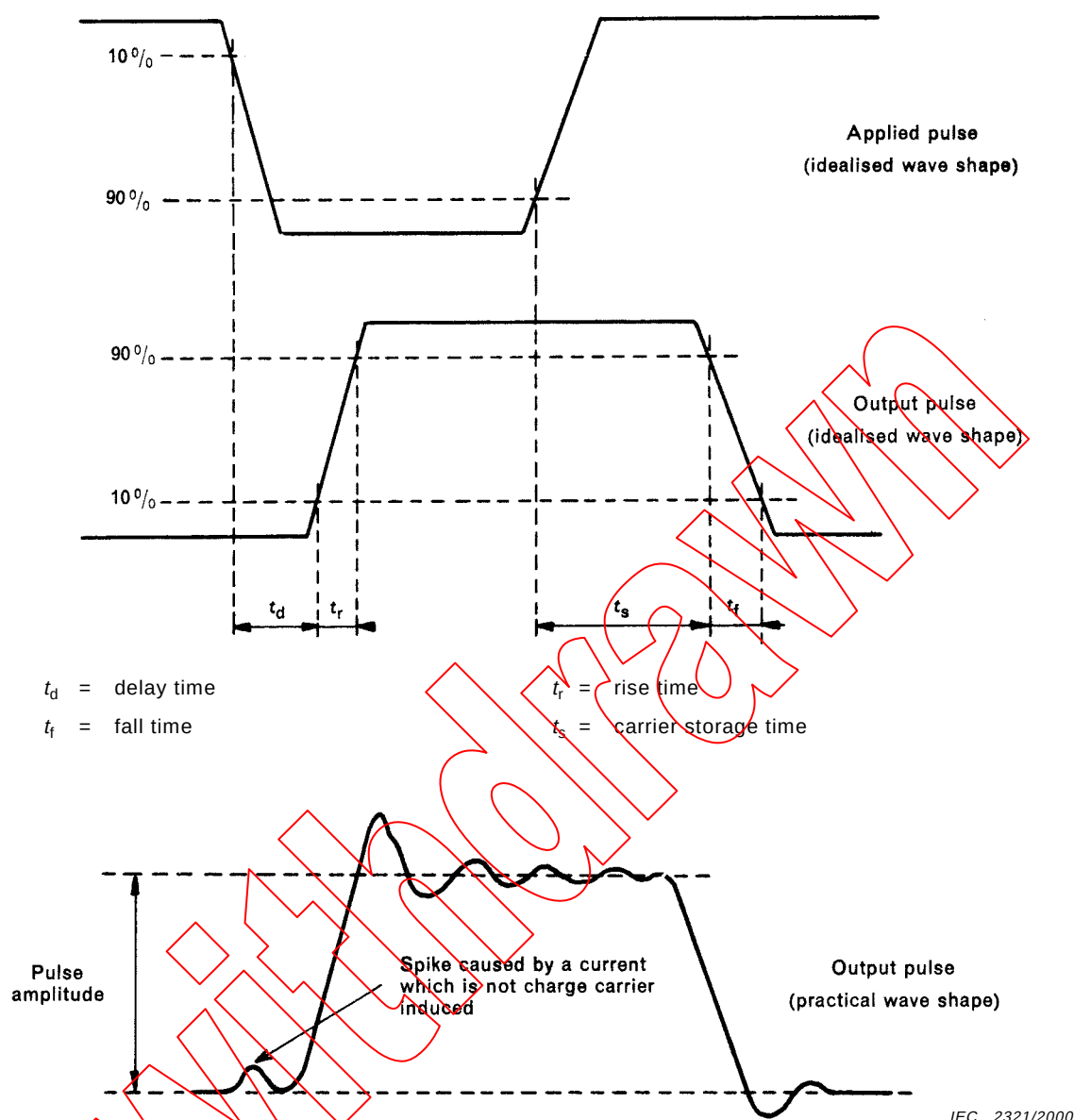


Figure 1 – Switching transistor pulse characteristic

3.4.14**maximum frequency of oscillation**

maximum frequency at which a transistor can be made to oscillate under specified conditions

NOTE This frequency approximates the frequency at which the maximum available power gain has decreased to unity.

3.4.15**transition frequency (f_T)**

product of the modulus of the common-emitter small-signal short-circuit forward current transfer ratio $|h_{21e}|$ and the frequency of measurement, this frequency being so chosen that $|h_{21e}|$ is decreasing at a slope of approximately 6 dB per octave

3.4.16

fréquence du rapport de transfert unité du courant (f_1)

fréquence à laquelle le module du rapport de transfert direct du courant, sortie en court-circuit, pour de petits signaux, en montage émetteur commun $|h_{21e}|$ est égal à l'unité

3.4.17

rapport de transfert du courant; facteur d'amplification en courant

3.4.17.1

rapport de transfert direct du courant, sortie en court-circuit, pour de petits signaux

rapport du courant alternatif de sortie et de la petite variation amortie du courant sinusoïdal d'entrée qui le produit, pour de petits signaux, la sortie étant court-circuitée pour le courant alternatif

3.4.17.2

valeur statique du rapport de transfert direct du courant

rapport du courant de sortie continu (permanent) au courant d'entrée continu (permanent), la tension de sortie étant maintenue constante

3.4.17.3

rapport de transfert intrinsèque direct du courant (pour de grands signaux)

différence entre le courant continu (permanent) du collecteur et le courant résiduel collecteur-base, divisée par la somme du courant continu (permanent) de la base et du courant résiduel collecteur-base à une valeur constante spécifiée de la tension collecteur-émetteur

3.4.18

rapport de transfert inverse de la tension, entrée en circuit ouvert, pour de petits signaux

rapport de la tension alternative apparaissant entre les bornes d'entrée quand elles sont en circuit ouvert, en courant alternatif, à la tension alternative appliquée aux bornes de sortie, pour de petits signaux

3.4.19

rapport des courants transitoires en régime de saturation (d'un transistor de commutation)

quotient du courant collecteur brusquement demandé à un transistor par le courant de base minimal nécessaire pour maintenir le transistor en régime de saturation

3.4.20

tension d'Early (tension d'extrapolation) V_{EY} (pour la conception de circuits assistée par ordinateur)

sur le graphique du courant collecteur en fonction de la tension collecteur-émetteur, avec le courant de base comme paramètre, tension correspondant au point où la droite qui extrapole la caractéristique de sortie coupe l'axe des tensions

NOTE La tension d'Early est pratiquement indépendante de la valeur choisie pour le courant de base (voir figure 2).

3.4.16**frequency of unity current transfer ratio (f_1)**

frequency at which the modulus of the common-emitter small-signal short-circuit forward current transfer ratio $|h_{21e}|$ has decreased to unity

3.4.17**current transfer ratio; current amplification factor****3.4.17.1****small-signal short-circuit forward current transfer ratio**

ratio between the alternating output current and the small sinusoidal input current producing it under small-signal conditions, the output being short-circuited to a.c.

3.4.17.2**static value of the forward current transfer ratio**

ratio between the continuous (direct) output and the continuous (direct) input current, the output voltage being held constant

3.4.17.3**inherent (large-signal) forward current transfer ratio**

difference between the continuous (direct) collector current and the collector-base cut-off current divided by the sum of the continuous (direct) base current and the collector-base cut-off current at a specified constant value of the collector-emitter voltage

3.4.18**small-signal open-circuit reverse voltage transfer ratio**

ratio of the alternating voltage appearing at the input terminals, when they are a.c. open-circuited, to the alternating voltage applied to the output terminals, under small-signal conditions

3.4.19**transient current ratio in saturation (of a switching transistor)**

quotient of the collector current suddenly demanded from a transistor and the minimum base current necessary to hold it in saturation

3.4.20**Early voltage V_{EY} (for computer-aided circuit design)**

voltage corresponding to the point derived from the graph of collector current versus collector-to-emitter voltage, with the base current as a parameter, where the output characteristic extrapolates back to the voltage axis

NOTE The Early voltage is approximately independent of the actual value of the base current (see figure 2).

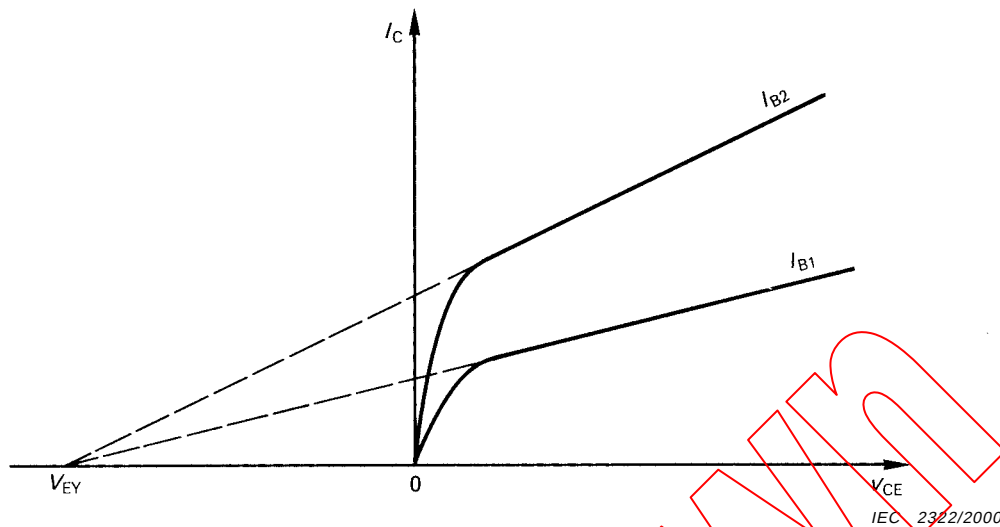


Figure 2 – Tension d'Early

3.5 Paramètres s

3.5.1 Introduction générale

Les paramètres s sont définis dans les deux équations suivantes:

$$\begin{aligned} b_1 &= s_{11} a_1 + s_{12} a_2 \\ b_2 &= s_{21} a_1 + s_{22} a_2 \end{aligned} \quad (1)$$

où a_1 et a_2 représentent les ondes incidentes, b_1 et b_2 les ondes réfléchies, toutes ayant la même dimension (Watt)^{1/2}.

On peut utiliser les paramètres s pour les réseaux ayant en général une entrée et une sortie, y compris dans le cas spécial des réseaux ayant deux paires de bornes. Dans ce dernier cas, a_i et b_i sont définis de la façon suivante:

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{V_i + Z_{0i} I_i}{2\sqrt{|R_{0i}|}} \\ b_i &= \frac{V_i - Z_{0i}^* I_i}{2\sqrt{|R_{0i}|}} \end{aligned} \quad (2)$$

où

$i = 1$ ou 2 et $R_{0i} \neq 0$;

$Z_{0i} = R_{0i} + jX_{0i}$;

$Z_{0i}^* = R_{0i} - jX_{0i}$.

(Voir figure 3.)

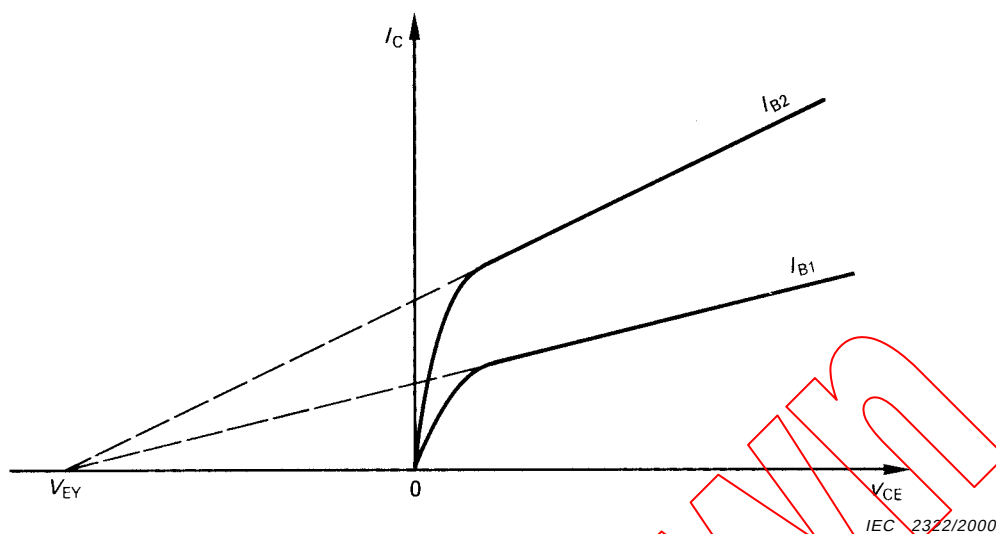


Figure 2 – Early voltage

3.5 s parameters

3.5.1 General introduction

The s parameters are defined by the following two equations:

$$\begin{aligned} b_1 &= s_{11} a_1 + s_{12} a_2 \\ b_2 &= s_{21} a_1 + s_{22} a_2 \end{aligned} \quad (1)$$

where a_1 and a_2 are the incident wave quantities, b_1 and b_2 the reflected wave quantities, all having the dimension $(\text{Watt})^{1/2}$.

The s parameters can be used for general two-port networks, including the special case of a four-pole network. In this latter case, a_i and b_i are defined as:

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{V_i + Z_{0i} I_i}{2\sqrt{|R_{0i}|}} \\ b_i &= \frac{V_i - Z_{0i}^* I_i}{2\sqrt{|R_{0i}|}} \end{aligned} \quad (2)$$

where

$i = 1$ or 2 and $R_{0i} \neq 0$;

$Z_{0i} = R_{0i} + jX_{0i}$;

$Z_{0i}^* = R_{0i} - jX_{0i}$.

(See figure 3.)

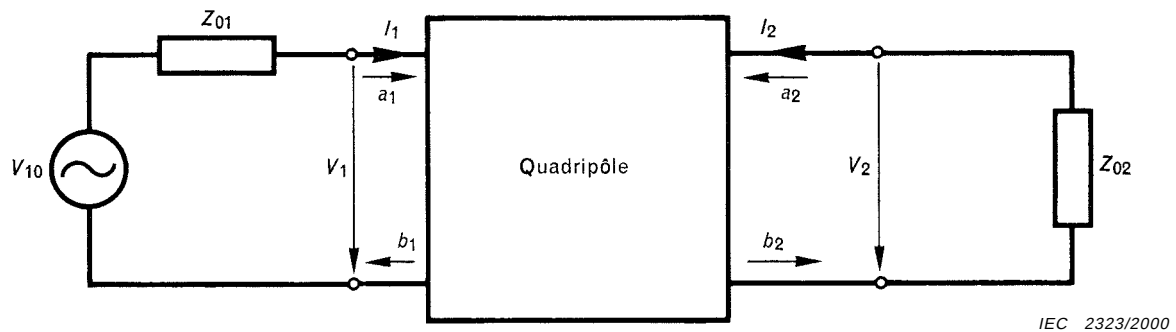


Figure 3 – Circuit avec réseau ayant deux paires de bornes

Z_{01} et Z_{02} sont les impédances de référence, respectivement à l'entrée et à la sortie.

En général, ce sont des quantités complexes.

Dans l'utilisation des paramètres s pour la spécification des transistors principalement en VHF et en UHF, $Z_{01} = Z_{02} = R_0$ (qui, dans la plupart des cas, est égale à 50 Ω).

On peut alors écrire les équations (1) de la façon suivante:

$$\begin{aligned} V_1 - R_0 I_1 &= s_{11} (V_1 + R_0 I_1) + s_{12} (V_2 + R_0 I_2) \\ V_2 - R_0 I_2 &= s_{21} (V_1 + R_0 I_1) + s_{22} (V_2 + R_0 I_2) \end{aligned} \quad (3)$$

On peut alors utiliser les équations (1) et (3) pour montrer la signification des différents paramètres s :

$$s_{11} = \left(\frac{b_1}{a_1} \right) \text{ avec } a_2 = 0$$

rapport de la valeur complexe de l'onde réfléchie à l'entrée à celle de l'onde incidente à l'entrée, la résistance placée à la sortie et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

$$= \left(\frac{V_1 - R_0 I_1}{V_1 + R_0 I_1} \right) \text{ avec } (V_2 = -R_0 I_2) = \left(\frac{Z_1 - R_0}{Z_1 + R_0} \right) \text{ avec } \left(-\frac{V_2}{I_2} = R_0 \right)$$

= coefficient de réflexion dû à la non-adaptation de l'impédance d'entrée à la résistance R_0 , la sortie étant terminée par R_0

De façon analogue:

s_{22} = rapport de la valeur complexe de l'onde réfléchie à la sortie à celle de l'onde incidente à la sortie, la résistance placée à l'entrée et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

= coefficient de réflexion dû à la non-adaptation de l'impédance de sortie à la résistance R_0 , l'entrée étant terminée par R_0

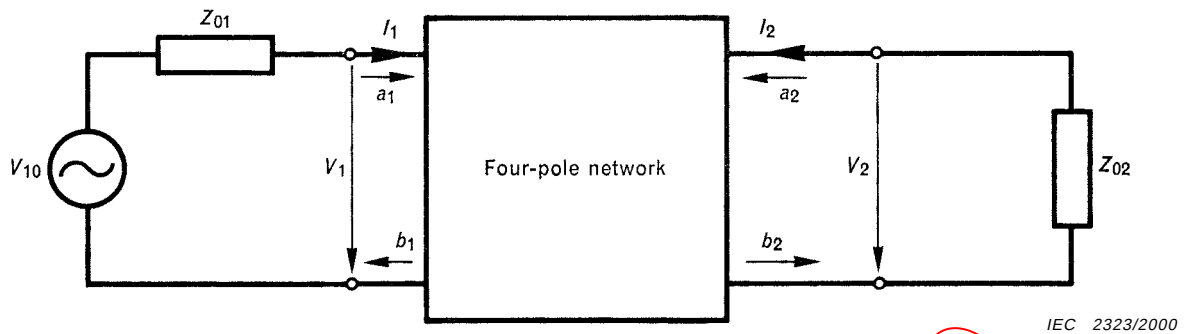


Figure 3 – Circuit with four-pole network

Z_{01} and Z_{02} are the reference impedances at the input and output, respectively.

In the general case, they are complex quantities.

For the use of s parameters for the specification of transistors mainly at VHF and UHF, $Z_{01} = Z_{02} = R_0$ (which, in most cases, will equal 50Ω).

The equations (1) can then be written in the following form:

$$\begin{aligned} V_1 - R_0 I_1 &= s_{11} (V_1 + R_0 I_1) + s_{12} (V_2 + R_0 I_2) \\ V_2 - R_0 I_2 &= s_{21} (V_1 + R_0 I_1) + s_{22} (V_2 + R_0 I_2) \end{aligned} \quad (3)$$

Both equations (1) and (3) can now be used to show the meaning of the s parameters:

$$\begin{aligned} s_{11} &= \left(\frac{b_1}{a_1} \right) \text{ with } a_2 = 0 \quad \text{ratio of the complex value of the reflected wave at the input to that of the incident wave at the input, the output terminating resistance and the source resistance each having the value } R_0 \\ &= \left(\frac{V_1 - R_0 I_1}{V_1 + R_0 I_1} \right) \text{ with } (V_2 = -R_0 I_2) = \left(\frac{Z_1 - R_0}{Z_1 + R_0} \right) \text{ with } \left(-\frac{V_2}{I_2} = R_0 \right) \\ &= \text{reflection factor of the input impedance referred to } R_0, \text{ the output being terminated by } R_0 \end{aligned}$$

Analogously:

$$\begin{aligned} s_{22} &= \text{ratio of the complex value of the reflected wave at the output to that of the incident wave at the output, the input terminating resistance and the source resistance each having the value } R_0 \\ &= \text{reflection factor of the output impedance referred to } R_0, \text{ the input being terminated by } R_0 \end{aligned}$$

De plus:

$s_{21} = \left(\frac{b_2}{a_1} \right)$ avec $a_2 = 0$ rapport de la valeur complexe de l'onde transmise à la sortie à celle de l'onde incidente à l'entrée, la résistance placée à la sortie et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

$$= \left(\frac{V_2 - R_0 I_2}{V_1 + R_0 I_1} \right) \text{ avec } (V_2 = -R_0 I_2) = \left(\frac{V_2}{\frac{1}{2} V_{10}} \right) \text{ avec } \left(-\frac{V_2}{I_2} = R_0 \right)$$

= rapport de la tension de sortie V_2 à la moitié de la tension de source en circuit ouvert V_{10} , les résistances de source et de charge ayant chacune la valeur R_0

De façon analogue:

s_{12} = rapport de la valeur complexe de l'onde transmise à l'entrée à celle de l'onde incidente à la sortie, la résistance placée à l'entrée et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

= rapport de la tension d'entrée V_1 à la moitié de la tension de source en circuit ouvert V_{20} , les résistances de source et de charge ayant chacune la valeur R_0

3.5.2 Définitions

Les définitions suivantes sont données pour le cas général. Pour les transistors, des valeurs différentes de ces paramètres peuvent être obtenues suivant le montage utilisé, et pour des conditions d'utilisation en petits ou en grands signaux.

3.5.2.1

coefficient de réflexion d'entrée (s_{11})

rapport de la valeur complexe de l'onde réfléchie à l'entrée à celle de l'onde incidente à l'entrée, en petits signaux, la résistance placée à la sortie et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

NOTE Ce coefficient est équivalent au coefficient de réflexion dû à la non-adaptation de l'impédance d'entrée Z_1 du transistor par rapport à la résistance de source R_0 , la sortie étant terminée par R_0 .

3.5.2.2

coefficient de réflexion de sortie (s_{22})

rapport de la valeur complexe de l'onde réfléchie à la sortie à celle de l'onde incidente à la sortie, en petits signaux, la résistance placée à l'entrée et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

NOTE Ce coefficient est équivalent au coefficient de réflexion dû à la non-adaptation de l'impédance de sortie Z_2 du transistor par rapport à une résistance R_0 , l'entrée étant terminée par R_0 .

3.5.2.3

coefficient de transmission direct (s_{21})

rapport de la valeur complexe de l'onde transmise à la sortie à celle de l'onde incidente à l'entrée, en petits signaux, la résistance placée à la sortie et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

NOTE Ce coefficient est équivalent au rapport de la valeur complexe de la tension de sortie à celle de la moitié de la tension de la source en circuit ouvert lorsque le transistor est terminé à la sortie par une résistance R_0 et alimenté à l'entrée par une source de résistance R_0 .

In addition:

$s_{21} = \left(\frac{b_2}{a_1} \right)$ with $a_2 = 0$ ratio of the complex value of the transmitted wave at the output to that of the incident wave at the input, the output terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

$$= \left(\frac{V_2 - R_0 I_2}{V_1 + R_0 I_1} \right) \text{ with } (V_2 = -R_0 I_2) = \left(\frac{V_2}{\frac{1}{2} V_{10}} \right) \text{ with } \left(-\frac{V_2}{I_2} = R_0 \right)$$

= ratio of the output voltage V_2 to half the open-circuit source voltage V_{10} , with source and load resistances each having the value R_0

Analogously:

s_{12} = ratio of the complex value of the transmitted wave at the input to that of the incident wave at the output, the input terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

= ratio of the input voltage V_1 to half the open-circuit source voltage V_{20} , with source and load resistances each having the value R_0

3.5.2 Definitions

The following definitions are given for the general case. For transistors, different values of these parameters may be obtained according to the configuration used, and for small- and large-signal conditions.

3.5.2.1

input reflection coefficient (s_{11})

ratio of the complex-value of the reflected wave at the input to that of the incident wave at the input, under small-signal conditions, the output terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

NOTE This is equivalent to the reflection factor of the input impedance Z_1 of the transistor with respect to the source resistance R_0 , the output being terminated by R_0 .

3.5.2.2

output reflection coefficient (s_{22})

ratio of the complex value of the reflected wave at the output to that of the incident wave at the output, under small-signal conditions, the input terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

NOTE This is equivalent to the reflection factor of the output impedance Z_2 of the transistor with respect to a resistance R_0 , the input being terminated by R_0 .

3.5.2.3

forward transmission coefficient (s_{21})

ratio of the complex value of the transmitted wave at the output to that of the incident wave at the input, under small-signal conditions, the output terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

NOTE This is equivalent to the ratio of the complex value of the output voltage to that of half the open-circuit source voltage when the transistor is terminated at the output by a resistance R_0 and fed at the input from a source having a resistance R_0 .

3.5.2.4

coefficient de transmission inverse (s_{12})

rapport de la valeur complexe de l'onde transmise à l'entrée à celle de l'onde incidente à la sortie, en petits signaux, la résistance placée à l'entrée et la résistance de source ayant chacune la valeur R_0

NOTE Ce coefficient est équivalent au rapport de la valeur complexe de la tension d'entrée à celle de la moitié de la tension de source en circuit ouvert, lorsque le transistor est terminé à l'entrée par une résistance R_0 et alimenté à la sortie par une source de résistance R_0 .

Note générale

La résistance R_0 doit être la même pour les quatre paramètres s et elle a en général pour valeur 50Ω .

Les définitions ci-dessus, qui impliquent que les résistances de source et de charge soient ohmiques, peuvent ne pas bien s'appliquer à certaines catégories de transistors (par exemple aux transistors à effet de champ MOS).

3.5.2.5

fréquence pour laquelle le coefficient de transmission direct est égal à l'unité (f_s, f_{1s})

fréquence pour laquelle le module du coefficient de transmission direct s_{21} est égal à l'unité

3.5.3 Applications des paramètres s

On peut utiliser les paramètres s définis en 3.5.2 par exemple de la façon suivante.

3.5.3.1 Relations des paramètres s avec d'autres paramètres (y, z, h)

Il y a équivalence entre les matrices suivantes:

$$(y) = \frac{1}{R_0 (1 + s_{11} + s_{22} + \det s)} \begin{bmatrix} (1 - s_{11} + s_{22} - \det s) & -2s_{12} \\ -2s_{21} & (1 + s_{11} - s_{22} - \det s) \end{bmatrix}$$

$$(z) = \frac{R_0}{1 - s_{11} - s_{22} + \det s} \begin{bmatrix} (1 + s_{11} - s_{22} - \det s) & 2s_{12} \\ 2s_{21} & (1 - s_{11} + s_{22} - \det s) \end{bmatrix}$$

$$(h) = \frac{1}{1 - s_{11} + s_{22} - \det s} \begin{bmatrix} (1 + s_{11} + s_{22} + \det s) & 2s_{12} \\ -2s_{21} & \frac{1}{R_0} (1 - s_{11} - s_{22} + \det s) \end{bmatrix}$$

$$\det y = \frac{1}{R_0^2} \frac{1 - s_{11} - s_{22} + \det s}{1 + s_{11} + s_{22} + \det s}$$

$$\det z = R_0^2 \frac{1 + s_{11} + s_{22} + \det s}{1 - s_{11} - s_{22} + \det s}$$

$$\det h = \frac{1 + s_{11} - s_{22} - \det s}{1 - s_{11} + s_{22} - \det s}$$

3.5.2.4**reverse transmission coefficient (s_{12})**

ratio of the complex value of the transmitted wave at the input to that of the incident wave at the output, under small-signal conditions, the input terminating resistance and the source resistance each having the value R_0

NOTE This is equivalent to the ratio of the complex value of the input voltage to that of half the open-circuit source voltage when the transistor is terminated at the input by a resistance R_0 and fed at the output from a source having a resistance R_0 .

General note

The resistance R_0 shall be the same for all four s parameters and usually will have the value 50 Ω .

The above definitions, which infer ohmic source and terminating resistances, may not be practical for some classes of transistors (e.g. MOS field-effect transistors).

3.5.2.5**frequency of unity forward transmission coefficient (f_s, f_{1s})**

frequency at which the modulus of the forward transmission coefficient s_{21} has decreased to unity

3.5.3 Application of the s parameters

The s parameters as defined in 3.5.2 can be used, for example, as follows.

3.5.3.1 Relation of s parameters with other parameters (y, z, h)

The following matrix equivalences hold:

$$(y) = \frac{1}{R_0 (1 + s_{11} + s_{22} + \det s)} \begin{bmatrix} (1 - s_{11} + s_{22} - \det s) & -2s_{12} \\ -2s_{21} & (1 + s_{11} - s_{22} - \det s) \end{bmatrix}$$

$$(z) = \frac{R_0}{1 - s_{11} - s_{22} + \det s} \begin{bmatrix} (1 + s_{11} - s_{22} - \det s) & 2s_{12} \\ 2s_{21} & (1 - s_{11} + s_{22} - \det s) \end{bmatrix}$$

$$(h) = \frac{1}{1 - s_{11} + s_{22} - \det s} \begin{bmatrix} (1 + s_{11} + s_{22} + \det s) & 2s_{12} \\ -2s_{21} & \frac{1}{R_0} (1 - s_{11} - s_{22} + \det s) \end{bmatrix}$$

$$\det y = \frac{1}{R_0^2} \frac{1 - s_{11} - s_{22} + \det s}{1 + s_{11} + s_{22} + \det s}$$

$$\det z = R_0^2 \frac{1 + s_{11} + s_{22} + \det s}{1 - s_{11} - s_{22} + \det s}$$

$$\det h = \frac{1 + s_{11} - s_{22} - \det s}{1 - s_{11} + s_{22} - \det s}$$

3.5.3.2 Conversion des paramètres s en autres paramètres (y, z, h)

On trouve les équivalences suivantes:

$$y_{11} = \left[\frac{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{12} = \left[\frac{-2s_{12}}{(1 - s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{21} = \left[\frac{-2s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{22} = \left[\frac{s_{12}s_{21} + (1 + s_{11})(1 - s_{22})}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$h_{11} = \left[\frac{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right] R_0$$

$$h_{12} = \left[\frac{2s_{12}}{s_{12}s_{21}(1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right]$$

$$h_{21} = \left[\frac{-2s_{21}}{s_{12}s_{21}(1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right]$$

$$h_{22} = \left[\frac{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$z_{11} = \left[\frac{(1 + s_{11})(1 - s_{22}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{12} = \left[\frac{2s_{12}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{21} = \left[\frac{2s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{22} = \left[\frac{(1 + s_{22})(1 - s_{11}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

3.5.3.2 Conversion of s parameters to other parameters (y , z , h)

The following equivalences hold:

$$y_{11} = \left[\frac{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{12} = \left[\frac{-2s_{12}}{(1 - s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{21} = \left[\frac{-2s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$y_{22} = \left[\frac{s_{12}s_{21} + (1 + s_{11})(1 - s_{22})}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$h_{11} = \left[\frac{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12}s_{21}}{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right] R_0$$

$$h_{12} = \left[\frac{2s_{12}}{s_{12}s_{21}(1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right]$$

$$h_{21} = \left[\frac{-2s_{21}}{s_{12}s_{21}(1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right]$$

$$h_{22} = \left[\frac{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}}{s_{12}s_{21} + (1 - s_{11})(1 + s_{22})} \right] \frac{1}{R_0}$$

$$z_{11} = \left[\frac{(1 + s_{11})(1 - s_{22}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{12} = \left[\frac{2s_{12}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{21} = \left[\frac{2s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

$$z_{22} = \left[\frac{(1 + s_{22})(1 - s_{11}) + s_{12}s_{21}}{(1 - s_{11})(1 - s_{22}) - s_{12}s_{21}} \right] R_0$$

3.5.3.3 Utilisation des paramètres s pour la détermination directe des caractéristiques des amplificateurs à transistors

r_1 = coefficient de réflexion à l'entrée, pour une résistance R_0 , dans le cas d'une impédance de charge Z_L définie par le coefficient de réflexion de la charge r_L

$$= s_{11} + \frac{r_L s_{12} s_{21}}{1 - r_L s_{22}}$$

$$r_1 = \frac{Z_1 - R_0}{Z_1 + R_0}$$

$$r_L = \frac{Z_L - R_0}{Z_L + R_0}$$

r_2 = coefficient de réflexion en sortie, pour une résistance R_0 , dans le cas d'une impédance de source Z_G définie par le coefficient de réflexion de la source r_G

$$= s_{22} + \frac{r_G s_{12} s_{21}}{1 - r_G s_{11}}$$

$$r_2 = \frac{Z_2 - R_0}{Z_2 + R_0}$$

$$r_G = \frac{Z_G - R_0}{Z_G + R_0}$$

$$A_1 = \text{amplification en courant} = \frac{-I_2}{I_1} = \frac{s_{21}(1 - r_L)}{(1 - s_{11}) - r_L(s_{22} - \det s)}$$

$$A_V = \text{amplification en tension} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{s_{21}(1 - r_L)}{(1 + s_{11}) - r_L(s_{22} + \det s)}$$

$$G_P = \text{gain en puissance} = \frac{P_2}{P_1} = |A_V|^2 \cdot \frac{1 - |r_L|^2}{1 - |r_1|^2} = |s_{21}|^2 \frac{1 - |r_L|^2}{|1 - r_L s_{22}|^2 - |s_{11} - r_L \det s|^2}$$

$$G_T = \text{gain composite} = |s_{21}|^2 \cdot \frac{(1 - |r_G|^2)(1 - |r_L|^2)}{[(1 - r_G s_{11})(1 - r_L s_{22}) - r_G r_L s_{12} s_{21}]^2}$$

Conditions de stabilité inconditionnelle:

$$\frac{1 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 + |\det s|^2}{2|s_{12} s_{21}|} > 1$$

$$1 - |s_{11}|^2 - |s_{12} s_{21}| > 0$$

$$1 - |s_{22}|^2 - |s_{12} s_{21}| > 0$$

3.5.3.3 Use of s parameters for the direct computation of transistor amplifier characteristics

r_1 = input reflection factor referred to R_0 , for a load impedance Z_L defined by the load reflection factor r_L

$$= s_{11} + \frac{r_L s_{12} s_{21}}{1 - r_L s_{22}}$$

$$r_1 = \frac{Z_1 - R_0}{Z_1 + R_0}$$

$$r_L = \frac{Z_L - R_0}{Z_L + R_0}$$

r_2 = output reflection factor referred to R_0 , for a source impedance Z_G defined by the source reflection factor r_G

$$= s_{22} + \frac{r_G s_{12} s_{21}}{1 - r_G s_{11}}$$

$$r_2 = \frac{Z_2 - R_0}{Z_2 + R_0}$$

$$r_G = \frac{Z_G - R_0}{Z_G + R_0}$$

$$A_1 = \text{current amplification} = \frac{-I_2}{I_1} = \frac{s_{21}(1 - r_L)}{(1 - s_{11}) - r_L(s_{22} - \det s)}$$

$$A_V = \text{voltage amplification} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{s_{21}(1 - r_L)}{(1 + s_{11}) - r_L(s_{22} + \det s)}$$

$$G_P = \text{power gain} = \frac{P_2}{P_1} = |A_V|^2 \cdot \frac{1 - |r_L|^2}{1 - |r_1|^2} = |s_{21}|^2 \frac{1 - |r_L|^2}{|1 - r_L s_{22}|^2 - |s_{11} - r_L \det s|^2}$$

$$G_T = \text{transducer gain} = |s_{21}|^2 \cdot \frac{(1 - |r_G|^2)(1 - |r_L|^2)}{[(1 - r_G s_{11})(1 - r_L s_{22}) - r_G r_L s_{12} s_{21}]^2}$$

Conditions of unconditional stability:

$$\frac{1 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 + |\det s|^2}{2|s_{12} s_{21}|} > 1$$

$$1 - |s_{11}|^2 - |s_{12} s_{21}| > 0$$

$$1 - |s_{22}|^2 - |s_{12} s_{21}| > 0$$

4 Symboles littéraux

Le plus souvent les symboles littéraux existants sont ajoutés aux termes dans les titres. Lorsque plusieurs formes distinctives existent, la forme la plus couramment utilisée est donnée.

4.1 Symboles littéraux pour courants, tensions et puissances

4.1.1 Généralités

L'article 2 de la CEI 60747-1, chapitre V s'applique.

4.1.2 Indices additionnels

En supplément à la liste des indices généraux recommandés donnée en 2.2.1 de la CEI 60747-1, chapitre V, les indices spéciaux suivants sont recommandés pour le domaine des transistors bipolaires:

B, b	= borne de base
C, c	= borne de collecteur
E, e	= borne d'émetteur
fl	= flottant
pt	= pénétration (perçage)
R (pas en tant que premier indice)	= résistance spécifiée
sat	= saturation
X	= circuit spécifié

4.2 Symboles littéraux pour paramètres électriques

4.2.1 Généralités

L'article 3 de la CEI 60747-1, chapitre V s'applique.

4.2.2 Indices additionnels

En supplément à la liste des indices généraux recommandés donnée en 3.3.1 de la CEI 60747-1, chapitre V, les indices spéciaux suivants sont recommandés pour le domaine des transistors bipolaires:

B, b	= base; montage base commune
C, c	= collecteur; montage collecteur commun
E, e	= émetteur; montage émetteur commun
L	= grands signaux
sat	= saturation
S, s	= accumulation, stockage
T	= transition

4.3 Symboles littéraux pour autres grandeurs

4.3.1 Généralités

L'article 4 de la CEI 60747-1, chapitre V s'applique.

4 Letter symbols

Mostly, existing letter symbols are added to the terms in titles. When several distinct forms exist, the most commonly used form is given.

4.1 Letter symbols for currents, voltages and powers

4.1.1 General

Clause 2 of IEC 60747-1, chapter V applies.

4.1.2 Additional subscripts

In addition to the list of recommended general subscripts given in 2.2.1 of IEC 60747-1, chapter V, the following special subscripts are recommended for the field of bipolar transistors:

B, b	= base terminal
C, c	= collector terminal
E, e	= emitter terminal
fl	= floating
pt	= punch-through (penetration, reach-through)
R (not as a first subscript)	= specified resistance
sat	= saturation
X	= specified circuit

4.2 Letter symbols for electric parameters

4.2.1 General

Clause 3 of IEC 60747-1, chapter V applies.

4.2.2 Additional subscripts

In addition to the list of recommended general subscripts given in 3.3.1 of IEC 60747-1, chapter V, the following special subscripts are recommended for the field of bipolar transistors:

B, b	= base; common-base configuration
C, c	= collector; common-collector configuration
E, e	= emitter; common-emitter configuration
L	= large signal
sat	= saturation
S, s	= storage
T	= transition

4.3 Letter symbols for other quantities

4.3.1 General

Clause 4 of IEC 60747-1, chapter V applies.

4.4 Liste de symboles littéraux

Les symboles littéraux contenus dans la liste suivante sont recommandés pour être utilisés dans le domaine des transistors bipolaires; ils ont été établis en accord avec les règles générales.

4.4.1 Tensions

Nom et désignation	Symbole littéral	Observations
Tension continue collecteur-base	V_{CB}	
Tension continue collecteur-émetteur	V_{CE}	
Tension continue émetteur-base	V_{EB}	
Tension continue base-émetteur	V_{BE}	
Tension continue collecteur-base avec $I_E = 0$ I_C spécifié	V_{CBO}	
Tension continue émetteur-base avec $I_C = 0$ I_E spécifié	V_{EBO}	
Tension continue collecteur-émetteur avec $I_B = 0$ I_C spécifié	V_{CEO}	
Tension continue collecteur-émetteur avec $R_{BE} = R$ I_C spécifié	V_{CER}	
Tension continue collecteur-émetteur avec $V_{BE} = 0$ I_C spécifié	V_{CES}	
Tension continue collecteur-émetteur avec $V_{BE} = X$ spécifié (jonction émetteur-base polarisée en inverse) I_C spécifié	V_{CEX}	
Tensions de claquage (circuit ouvert)	$V_{(BR)...O}$	L'abréviation BV est d'un usage courant pour ces grandeurs.
Tension de claquage collecteur-base avec $I_E = 0$ I_C spécifié	$V_{(BR)CBO}$	
Tension de claquage émetteur-base avec $I_C = 0$ I_E spécifié	$V_{(BR)EBO}$	
Tension de claquage collecteur-émetteur avec $I_B = 0$ I_C spécifié	$V_{(BR)CEO}$	
Tensions de claquage (circuit spécifié)		L'abréviation BV est d'un usage courant pour ces grandeurs.
Tension de claquage collecteur-émetteur avec $R_{BE} = R$ I_C spécifié	$V_{(BR)CER}$	
Tension de claquage collecteur-émetteur avec $V_{BE} = X$ spécifié I_C spécifié	$V_{(BR)CEX}$	
Tension de claquage (court-circuit)	$V_{(BR)...S}$	L'abréviation BV est d'un usage courant pour ces grandeurs.
Tension de claquage collecteur-émetteur avec $V_{BE} = 0$ I_C spécifié	$V_{(BR)CES}$	
Tension flottante émetteur-base avec $I_E = 0$ V_{CB} spécifiée	V_{EBfI}	
Tension de pénétration (tension de perçage)	V_{pt}	
Tension de saturation collecteur-émetteur avec I_B spécifié I_C spécifié	V_{CESat}	
Tension de saturation base-émetteur avec I_B spécifié I_C spécifié	V_{BESat}	

4.4 List of letter symbols

The symbols contained in the following list are recommended for use in the field of bipolar transistors; they have been compiled in accordance with the general rules.

4.4.1 Voltages

Name and designation	Letter symbol	Remarks
Collector-base (d.c.) voltage	V_{CB}	
Collector-emitter (d.c.) voltage	V_{CE}	
Emitter-base (d.c.) voltage	V_{EB}	
Base-emitter (d.c.) voltage	V_{BE}	
Collector-base (d.c.) voltage with $I_E = 0$ I_C specified	V_{CBO}	
Emitter-base (d.c.) voltage with $I_C = 0$ I_E specified	V_{EBO}	
Collector-emitter (d.c.) voltage with $I_B = 0$ I_C specified	V_{CEO}	
Collector-emitter (d.c.) voltage with $R_{BE} = R$ I_C specified	V_{CER}	
Collector-emitter (d.c.) voltage with $V_{BE} = 0$ I_C specified	V_{CES}	
Collector-emitter (d.c.) voltage with $V_{BE} = X$ specified (reverse biased emitter-base junction) I_C specified	V_{CEX}	
Breakdown voltages (open-circuit)	$V_{(BR)...O}$	The abbreviation BV is in common use for these quantities.
Breakdown voltage, collector-base with $I_E = 0$ I_C specified	$V_{(BR)CBO}$	
Breakdown voltage, emitter-base with $I_C = 0$ I_E specified	$V_{(BR)EBO}$	
Breakdown voltage, collector-emitter with $I_B = 0$ I_C specified	$V_{(BR)CEO}$	
Breakdown voltage (specified circuit)		The abbreviation BV is in common use for these quantities.
Breakdown voltage, collector-emitter with $R_{BE} = R$ I_C specified	$V_{(BR)CER}$	
Breakdown voltage, collector-emitter with $V_{BE} = X$ specified I_C specified	$V_{(BR)CEX}$	
Breakdown voltage (short-circuit)	$V_{(BR)...S}$	The abbreviation BV is in common use for these quantities.
Breakdown voltage, collector-emitter with $V_{BE} = 0$ I_C specified	$V_{(BR)CES}$	
Floating voltage, emitter-base with $I_E = 0$ V_{CB} specified	V_{EBfl}	
Punch-through (penetration) voltage	V_{pt}	
Saturation voltage, collector-emitter with I_B specified I_C specified	V_{CEsat}	
Saturation voltage, base-emitter with I_B specified I_C specified	V_{BEsat}	

4.4.2 Courants

Nom et désignation	Symbole littéral	Observations
Courant continu de la base	I_B	
Courant continu du collecteur	I_C	
Courant continu de l'émetteur	I_E	
Courant résiduel du collecteur avec $I_E = 0$ V_{CB} spécifiée	I_{CBO}	
Courant résiduel du collecteur avec $I_B = 0$ V_{CE} spécifiée	I_{CEO}	
Courant résiduel de l'émetteur avec $I_C = 0$ V_{EB} spécifiée	I_{EBO}	
Courant résiduel du collecteur avec $R_{BE} = R$ V_{CE} spécifiée	I_{CER}	
Courant résiduel du collecteur avec $V_{BE} = 0$ V_{CE} spécifiée	I_{CES}	
Courant résiduel du collecteur avec $V_{BE} = X$ V_{CE} spécifiée	I_{CEX}	
Courant résiduel de la base avec $V_{BE} = X$ V_{CE} spécifiée	I_{BEX}	

4.4.3 Puissances

Nom et désignation	Symbole littéral	Observations
Puissance dissipée au collecteur avec T_{amb} ou T_{case} spécifiée	P_C	
Puissance totale d'entrée (continue ou moyenne) de toutes les électrodes avec T_{amb} ou T_{case} spécifiée	P_{tot}	

4.4.4 Paramètres électriques

4.4.4.1 Paramètres statiques (spécifiés pour des conditions de polarisation)

Nom et désignation	Symbole littéral	Observations
Valeur statique du rapport de transfert direct du courant (en montage émetteur commun)	h_{21E} ou h_{FE}	$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E}{I_B} - 1$ avec $V_{CE} = \text{constante}$
Valeur statique de la résistance d'entrée (en montage émetteur commun)	h_{11E} ou h_{iE}	$h_{11E} = \frac{V_{BE}}{I_B}$ avec $V_{CE} = \text{constante}$
Rapport de transfert intrinsèque direct du courant (pour de grands signaux)	h_{21EL} ou h_{FEL}	$h_{21EL} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B + I_{CBO}}$ avec $V_{CE} = \text{constante}$

4.4.2 Currents

Name and designation	Letter symbol	Remarks
Base (d.c.) current	I_B	
Collector (d.c.) current	I_C	
Emitter (d.c.) current	I_E	
Collector cut-off current with $I_E = 0$ V_{CB} specified	I_{CBO}	
Collector cut-off current with $I_B = 0$ V_{CE} specified	I_{CEO}	
Collector cut-off current with $I_C = 0$ V_{EB} specified	I_{EBO}	
Collector cut-off current with $R_{BE} = R$ V_{CE} specified	I_{CER}	
Collector cut-off current with $V_{BE} = 0$ V_{CE} specified	I_{CES}	
Collector cut-off current with $V_{BE} = X$ V_{CE} specified	I_{CEX}	
Base cut-off current with $V_{BE} = X$ V_{CE} specified	I_{BEX}	

4.4.3 Powers

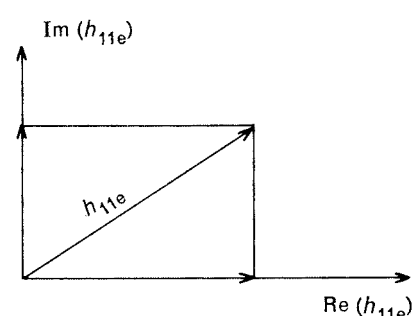
Name and designation	Letter symbol	Remarks
Collector power dissipation with T_{amb} or T_{case} specified	P_C	
Total input power (d.c. or average) to all electrodes with T_{amb} or T_{case} specified	P_{tot}	

4.4.4 Electrical parameters

4.4.4.1 Static parameters (specified for bias conditions)

Name and designation	Letter symbol	Remarks
Static value of the forward current transfer ratio (in common-emitter configuration)	h_{21E} or h_{FE}	$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E}{I_B} - 1$ with $V_{CE} = \text{constant}$
Static value of the input resistance (in common-emitter configuration)	h_{11E} or h_{iE}	$h_{11E} = \frac{V_{BE}}{I_B}$ with $V_{CE} = \text{constant}$
Inherent (large-signal) forward current transfer ratio	h_{21EL} or h_{FEL}	$h_{21EL} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B + I_{CBO}}$ with $V_{CE} = \text{constant}$

4.4.4.2 Paramètres pour signaux de faible puissance (spécifiés pour des conditions de polarisation et de fréquence)

Nom et désignation	Symbole littéral	Observations
Valeur de l'impédance d'entrée, sortie en court-circuit pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	h_{11e} ou h_{ie} h_{11b} ou h_{ib}	$h_{11e} = \frac{V_{be}}{I_b}$ avec $V_{ce} = \text{constante}$ $h_{11b} = \frac{V_{eb}}{I_e}$ avec $V_{cb} = \text{constante}$
Valeur du rapport de transfert inverse de la tension, entrée en circuit ouvert, pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	h_{12e} ou h_{re} h_{12b} ou h_{rb}	$h_{12e} = \frac{V_{be}}{V_{ce}}$ avec $I_b = \text{constante}$ $h_{12b} = \frac{V_{eb}}{V_{cb}}$ avec $I_e = \text{constante}$
Valeur du rapport de transfert direct du courant, sortie en court-circuit, pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	h_{21e} ou h_{fe} h_{21b} ou h_{fb}	$h_{21e} = \frac{I_c}{I_b}$ avec $V_{ce} = \text{constante}$ $h_{21b} = \frac{I_e}{I_e}$ avec $V_{cb} = \text{constante}$
Valeur de l'admittance de sortie, entrée en circuit ouvert, pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	h_{22e} ou h_{oe} h_{22b} ou h_{ob}	$h_{22e} = \frac{I_c}{V_{ce}}$ avec $I_b = \text{constante}$ $h_{22b} = \frac{I_e}{V_{cb}}$ avec $I_e = \text{constante}$
Partie réelle de l'impédance d'entrée, sortie en court-circuit, pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	$\text{Re}(h_{11e})$ $\text{Re}(h_{11b})$	$h_{11e} = \text{Re}(h_{11e}) + \text{Im}(h_{11e})$ $h_{11b} = \text{Re}(h_{11b}) + \text{Im}(h_{11b})$ 
Partie imaginaire de l'impédance d'entrée, sortie en court-circuit, pour de petits signaux: – en montage émetteur commun – en montage base commune	$\text{Im}(h_{11e})$ $\text{Im}(h_{11b})$	
Capacité d'entrée, sortie en court-circuit, pour le courant alternatif: – en montage émetteur commun – en montage base commune	C_{11es} ou C_{ies} C_{11bs} ou C_{ibs}	$h_{11e} \cong \text{Re}(h_{11e}) + \frac{1}{j\omega C_{11es}}$ $h_{11b} \cong \text{Re}(h_{11b}) + \frac{1}{j\omega C_{11bs}}$
Capacité d'entrée, sortie en circuit ouvert, pour le courant alternatif: – en montage émetteur commun – en montage base commune	C_{11eo} ou C_{ieo} C_{11bo} ou C_{ibo}	