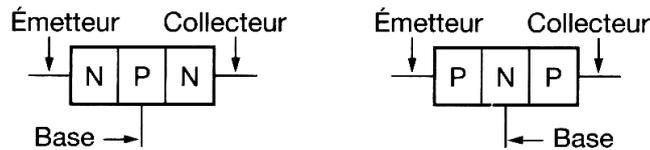


**LE TRANSISTOR BIPOLAIRE**

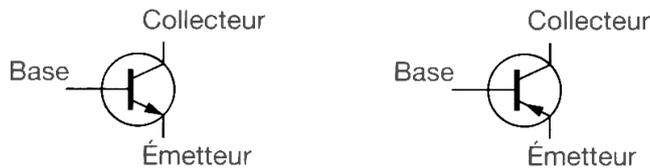
**GÉNÉRALITÉS**

Constitution :

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



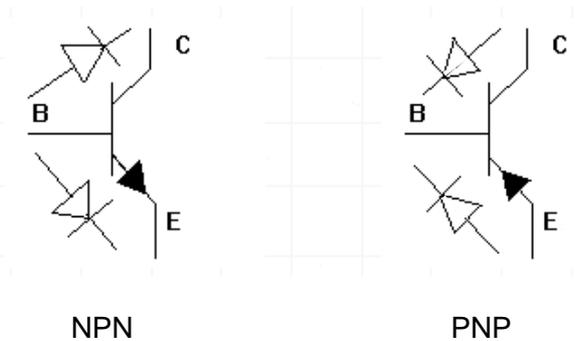
**Symboles**



Un transistor comporte trois connexions : <b>L'émetteur (E), la base (B) et le collecteur (C)</b>	
Le transistor <b>NPN</b>	Le transistor <b>PNP</b>
La base, zone de type P est située entre deux zones de type N.	La base, zone de type N, est située entre deux zones de type P.

Remarques :

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur. C'est l'effet transistor qui permet à la diode qui est en inverse de conduire quand une tension est appliquée sur la base.



On peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes dont la représentation ci-dessus peut aider.

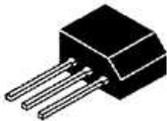
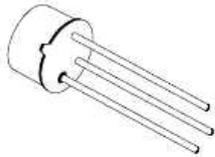
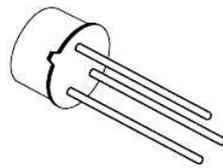
Boitier et brochage d'un transistor :

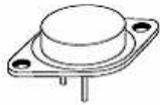
Il varie selon le type de boitier. On trouve essentiellement les boitiers ci-dessous :

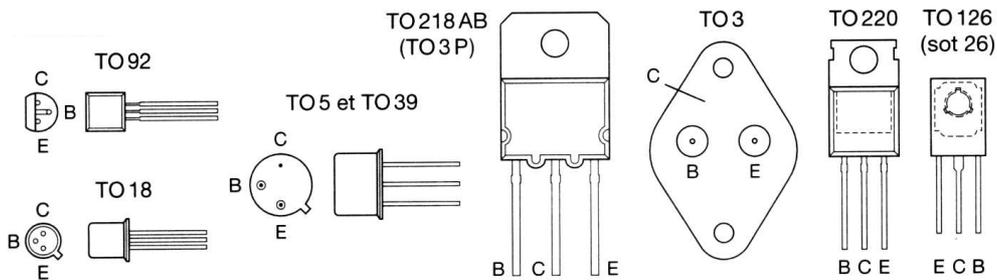
À côté de chaque image se situe le nom du boitier ainsi que les résistances thermiques jonction vers ambiant et jonction vers boitier.

La résistance thermique jonction vers ambiant est particulièrement intéressante dans le cas de calcul de température et de dissipation de puissance. Si nous avons 1 Watt à dissiper par exemple, un boitier TO202 s'élèvera de 100°C par rapport à la température ambiante.

Attention : les valeurs figurant dans ce tableau sont des ordres de grandeur. Pour plus de précision, consulter les spécifications (ou datasheet) constructeur du composant.

	Boitier	Nom	Jonction vers ambiant (°C/W)	Jonction vers boitier (°C/W)
Petits signaux		TO202	100	10
		TO92	200	83.3
		TO18	300	80
		TO39	190	50
		TO220	50	5

	Boitier	Nom	Jonction vers ambient (°C/W)	Jonction vers boitier (°C/W)
Puissance		TO3	35	4
		SOT32 ou TO126	100	10



**POLARISATION D'UN TRANSISTOR**

- Règles :

- Deux sources d'alimentation sont nécessaires pour assurer un fonctionnement correct du transistor. Elles sont souvent notées :

- $V_{BB}$  : Alimentation du circuit Base.
- $V_{CC}$  : Alimentation du circuit Collecteur.

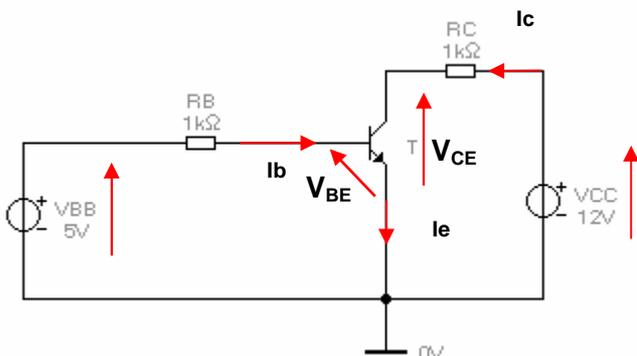
Remarque : L'alimentation  $V_{BB}$  est parfois réalisée à partir de  $V_{CC}$

- Caractéristiques d'un transistor :

- Les constructeurs donnent en général les valeurs ci-dessous à ne pas dépasser afin d'éviter la détérioration du transistor :

- $V_{CE0}$  ou  $V_{MAX}$  : Tension collecteur/emetteur maxi (à  $V_{BB} = 0$ )
- $V_{BE0}$  : Tension base/emetteur maxi
- $I_C$  max : Courant maxi dans le collecteur
- P : Puissance maxi que peut dissiper le transistor (avec  $P = V_{CE} \cdot I_C$ )

- Schéma de principe : (Placer les courants et les tensions sur le schéma)



Avec :

**I<sub>b</sub>** = courant de base  
**I<sub>c</sub>** = courant de collecteur  
**I<sub>e</sub>** = courant dans l'émetteur

**R<sub>B</sub>** et **R<sub>C</sub>** = résistances de limitation des courants I<sub>c</sub> et I<sub>b</sub>

- Relations entre courants :

- La loi des nœuds permet d'écrire :

$$I_E = I_C + I_B \quad (1)$$

- D'autre part il existe une relation entre courant de base et courant collecteur due à l'effet transistor. Cette relation s'écrit :

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (\text{avec } \beta = \text{gain en courant du transistor})$$

REM : Ce coefficient  $\beta$  est souvent noté **Hfe** dans les catalogues constructeurs. Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant.

En règle générale  $\beta$  varie de 30 à 300 avec pour valeur courante :

- Transistors dit "Petit signaux" :  $100 < \beta < 300$
- Transistors dit de "Puissance" :  $30 < \beta < 100$

- La relation (1) peut alors s'écrire :

$$I_E = \beta \cdot I_B + I_B \quad \text{soit} \quad I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

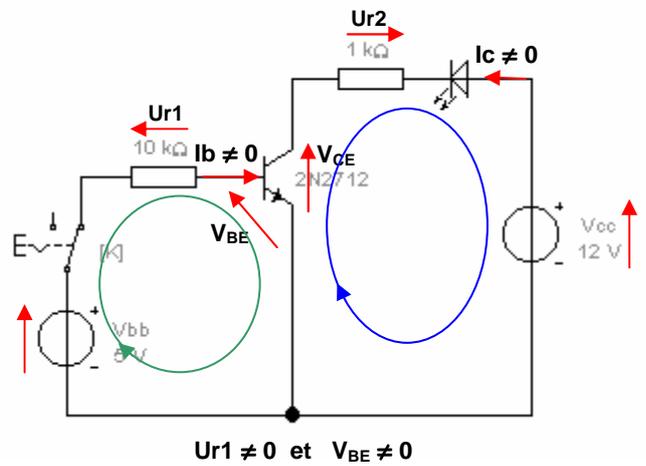
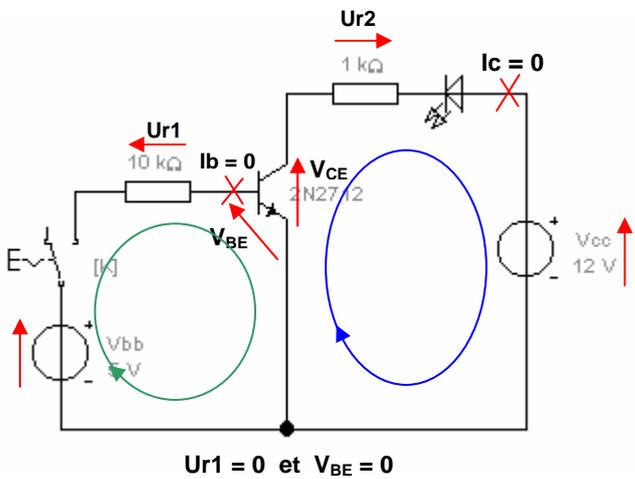
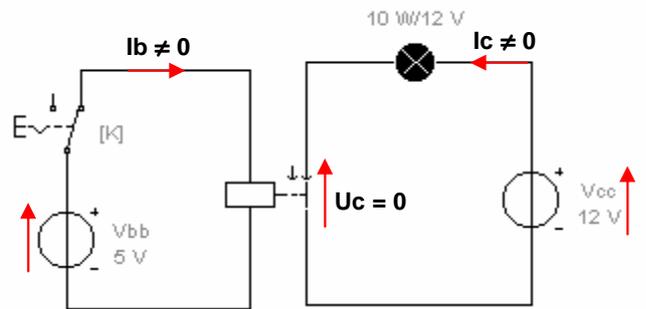
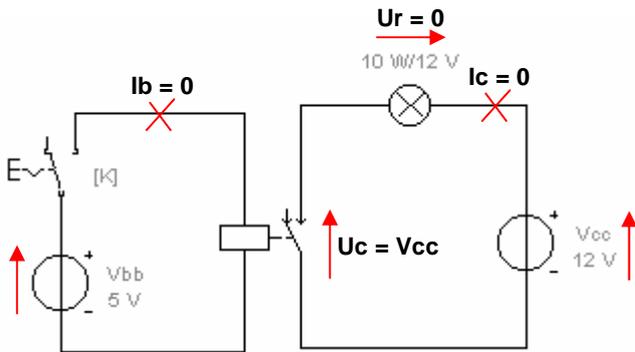
REM : Si  $\beta \cdot I_B$  est grand devant  $I_B$  (ce qui est le cas pour les transistors "Petits signaux") on peut alors écrire :

$$\beta + 1 = \beta \quad \text{et} \quad I_E = I_C$$

## LE TRANSISTOR EN RÉGIME DE COMMUTATION

Il est alors considéré comme un "relais statique".

- Analogie Relais électromagnétique / Transistor :



- On a alors 2 états de fonctionnement :

**Si  $I_b = 0$  on a  $I_c = 0$**

Le transistor est dit :

« **BLOQUÉ** »

(Donc équivalent à un interrupteur ouvert entre collecteur et emetteur)

**Si  $I_b \neq 0$  on a  $I_c \neq 0$**

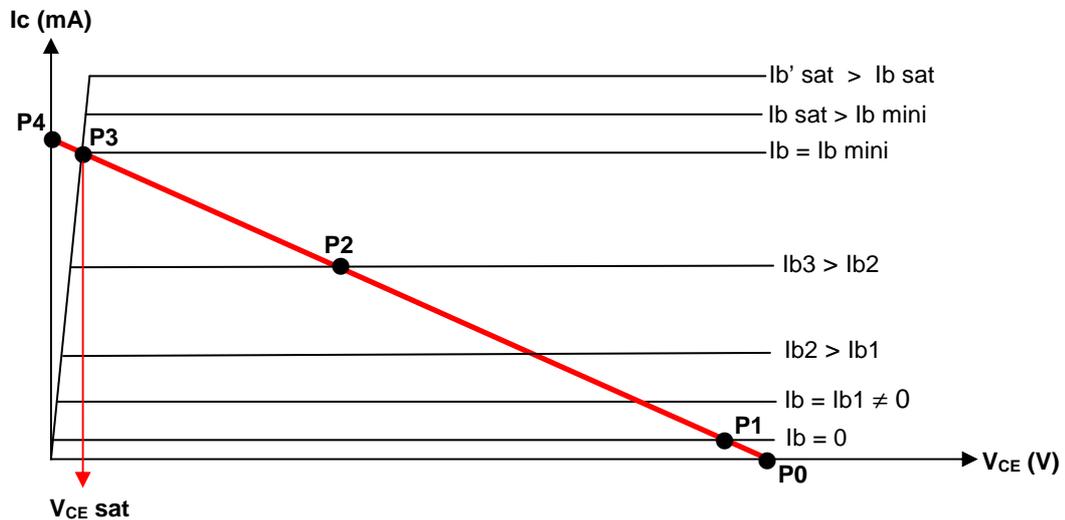
Le transistor est dit :

« **SATURÉ (ou PASSANT)** »

(Donc équivalent à un interrupteur fermé entre collecteur et emetteur)

- Points de fonctionnement d'un transistor en commutation :

- Sur le réseau de caractéristique  $I_c = f(V_{CE})$  à  $I_b = \text{constante}$  ci-dessous on trace la "droite de charge du transistor" :



REM : Le réseau de caractéristique  $I_c = f(V_{ce})$  à  $I_B = \text{constante}$  est dépendant du transistor utilisé (il est donné par le constructeur).

- L'équation de la droite de charge est donnée par la "maille" du schéma (page 5) soit :

$$V_{cc} - U_C - V_{CE} = 0 \quad (U_C = \text{Tension dans la résistance de charge})$$

- Lors du fonctionnement en commutation le point **P** se déplace sur la droite de charge entre **P1** (pour  $I_b = 0$ ) et **P3** (pour  $I_b = I_b \text{ mini}$ ).

On peut définir les coordonnées des points P0 et P4 :

- Point **P0** : On a  $I_c = 0$  donc  $V_{CE} = V_{CC}$

- Point **P4** : On a  $V_{CE} = 0$  donc  $I_c = V_{cc} / R_C$

- En conclusion si  $I_b$  augmente :

-  $I_c$  augmente et tend vers  $V_{cc} / R_C$

-  $V_{CE}$  diminue et tend vers 0

- On appelle  $I_b \text{ mini}$  la valeur pour laquelle on a saturation du transistor ; pour cette valeur  $I_b$  on a :

$$I_c = V_{cc} / R_C (= I_c \text{ sat}) \text{ et } V_{ce \text{ sat}} = 0$$

(En réalité  $V_{CE \text{ sat}}$  varie de 0,1 à 0,4 V selon la valeur de  $I_b \text{ sat}$ )

- Cette valeur de  $I_b \text{ mini}$  correspond à la valeur de  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$  qui est la tension de seuil de la jonction Base / Emetteur.

- Calcul de la résistance de base d'un transistor en commutation :

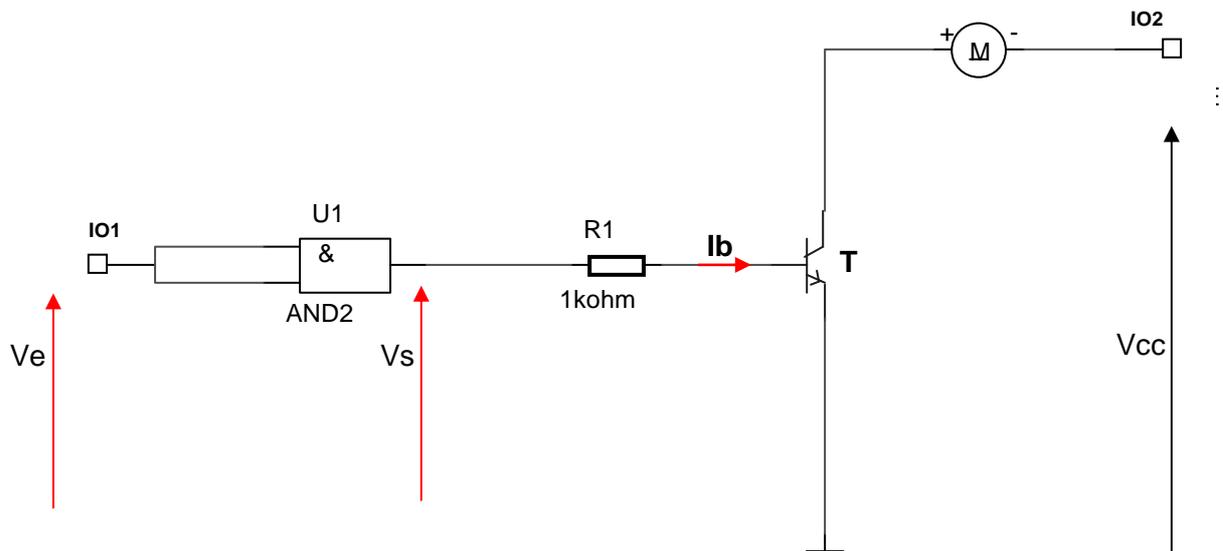
- Pour ce calcul il est nécessaire de connaître :

- Les tensions d'alimentation  $V_{bb}$  et  $V_{cc}$ .
- La valeur de la résistance de charge  $R_c$  (ou le courant  $I_c$ ).
- Les caractéristiques du transistor utilisé.

REM : En règle générale pour avoir un fonctionnement correct on adopte un coefficient de "sursaturation" compris entre 2 et 5  $I_b$  mini.

## EXERCICE D'APPLICATION

- Soit le schéma ci-dessous :



Caractéristiques électriques du moteur : DC 20 Watts / 12 Volts.  
CI : AND2 de référence SN 7408 ( $I_{OH} = 20$  mA maxi).

### Question 1 :

Définir la tension d'alimentation  $V_{cc}$  ainsi que les tensions  $V_e$  et  $V_s$ .

**La caractéristique tension du moteur DC est de 12 V. La tension  $V_{cc}$  sera donc de 12 V pour que le moteur fonctionne correctement quand le transistor est saturé. Le circuit intégré SN 7408 est un circuit de technologie TTL. Il est donc alimenté en 5 V. La tension  $V_s$  à l'état haut (1L) est donc de 5 V.  $V_e$  sera donc aussi de 5 V car  $V_e = V_s$  du CI.**

### Question 2 :

Choisir le transistor T (voir document constructeur en page 9) puis en déduire le courant de commande  $I_b$ .

**Pour le choix du transistor T il faut respecter son type (NPN ou PNP) et les valeurs à ne pas dépasser afin d'éviter sa détérioration c.a.d :**

- $V_{CE0}$  : Tension Collecteur / Émetteur maxi (à  $V_{bb} = 0$ )
- $I_C$  max : Courant maxi dans le collecteur.

Dans notre cas il faut que  $V_{CE0}$  soit  $\geq$  à la tension  $V_{cc}$  de 12 V.

Et il faut que  $I_C$  max soit  $\geq$  au courant consommé par le moteur soit :

$$I_m = P / V_{cc} = 20 / 12 \text{ soit } 1,666 \text{ A} = 1666 \text{ mA}$$

Plusieurs choix de transistors de type NPN sont possibles sur le document constructeur :

On choisi le ZTX 650 par exemple qui possède les caractéristiques les plus proches dans l'ensemble de celles recherchées.

### Question 3 :

Calculer la résistance de base R1 puis vérifier la compatibilité du CI avec le montage.

Il possède un  $H_{fe}$  de 100 à 300 on a donc  $I_b$  mini =  $I_c / H_{fe}$  mini soit  $1666 / 100 = 16 \text{ mA}$

$$\text{Et par suite } R1 = (V_e - V_{be}) / I_b \text{ mini} = (5 - 0,7) / 0,016 = 268,75 \Omega$$

(soit 280 Ohms / valeur normalisée)

REM : On peut vérifier que  $I_b$  mini est  $<$  à 20 mA.

On respecte donc bien la valeur de  $I_{OH} = 20 \text{ mA}$  maxi en sortie du CI.

Mais avec ce transistor on ne peut pas adopter de coefficient de sursaturation pour  $I_b$  (2 à 5) car on dépasserait cette valeur max de  $I_{OH}$ .

## Transistors

### Transistors petits signaux

#### Transistors bipolaires



TO-18

TO-39

TO-92

SOT-23

SOT-223

SOT-323

SOT-89

réf.	fab.	V <sub>cesat</sub> (V max.)	I <sub>c</sub> max. (mA)	P <sub>tot</sub> (mW max.)	h <sub>FE</sub> (min./max.)	Vcesat (V max.)	ft (MHz min.)	U.D.V.	code commande	prix de l'U.D.V.			
										1-19	20-99	100+	
Transistors faibles signaux													
TO-18 - NPN													
2N2222A	Motorola	40	800	400	100 / 300	0,3	300	1	295-028	3,00	2,55	2,10	
BC107B	Motorola	45	200	600	240 / 500	0,6	150	1	293-527	2,80	2,38	1,96	
TO-18 - PNP													
BC179	STM	25	100	300	240 / 500	0,25	200 (typ)	5	295-933	14,65	12,45	10,26	
BC478	STM	40	150	360	125 / 500	0,25	180 (typ)	5	293-612	33,50	28,48	23,45	
BC479	STM	40	150	360	220 / -	0,25	180 (typ)	5	293-628	33,50	28,48	23,45	
BC177	STM	50	100	300	125 / 260	0,25	200 (typ)	5	295-911	14,65	12,45	10,26	
2N2907A	Motorola	60	600	400	100 / 300	0,4	200	1	296-166	4,50	3,83	3,15	
BC477	STM	80	150	360	125 / 260	0,25	180 (typ)	5	293-606	36,40	30,94	25,48	
TO-39 - NPN													
2N2219A	Motorola	40	800	800	100 / 300	0,3	300	1	126-9288	4,70	4,00	3,29	
2N3053	Motorola	40	700	5000	50 / 250	1,4	100	1	126-9345	4,25	3,61	2,98	
2N1711	Motorola	50	-	800	100 / 300	1,5	70	1	642-581	4,95	4,21	3,47	
BC142	STM	60	1000	750	20 / -	0,4	80	5	293-987	24,00	20,40	16,80	
BC441	STM	70	1000	1000	40 / 70	1	50	5	295-191	32,00	27,20	22,40	
2N3019	Motorola	80	1000	800	100 / 300	0,2	100	5	642-604	17,00	14,45	11,90	
2N3440	Motorola	250	1000	1000	40 / 160	0,5	15	5	642-597	6,00	5,10	4,20	
TO-39 - PNP													
BFY52	-	20	1000	800	60 / 142	1	50	5	N 293-656	18,55	13,91	9,28	
BFY51	-	30	1000	800	15 / 55	1,6	110	5	N 293-640	21,60	16,20	10,80	
BFY50	-	35	1000	800	15 / 70	1	100	5	N 293-634	22,60	16,95	11,30	
BFX88	-	40	600	600	40 / 125	0,4	100	5	N 294-665	23,60	17,70	11,80	
2N2905	Motorola	40	600	600	100 / 300	0,4	200	1	294-671	5,00	4,25	3,50	
2N2905A	Motorola	60	600	400	100 / 300	0,4	200	1	295-208	4,95	4,21	3,47	
2N2905A	Motorola	Conditionnement en barrette de 50 pièces							50	306-4142	154,15		
BC143	STM	60	1000	750	20 / -	0,5	-	5	293-993	24,00	20,40	16,80	
BC461	STM	60	1000	1000	40 / 70	1	50	5	293-915	29,10	24,74	20,37	
2N5415	Motorola	200	1000	1000	30 / 150	2,5	15	1	642-569	8,00	6,80	5,60	
2N5416	Motorola	300	1000	1000	30 / 120	2,5	15	1	642-575	9,00	7,65	6,30	
TO-92 - NPN													
BCU81	-	10	3000	750	140 / -	2	200	1	217-8199	8,35	7,10	5,85	
2N2369A	Philips	15	200	360	40 / 120	0,5	500	5	296-172	17,75	15,09	12,43	
ZTX313	Zetex	15	500	300	40 / 120	0,24	500	5	296-201	13,80	11,73	9,66	
ZTX314	Zetex	15	500	300	40 / 120	0,5	500	5	841-148	21,00	17,85	14,70	
ZTX1048A	Zetex	17,5	4000	1000	300 / 1200	0,245	150 (typ)	5	215-6470	29,50	25,08	20,65	
ZTX689B	Zetex	20	3000	1000	150 / -	0,5	150	5	N 263-920	18,15	16,34	14,52	
BCU83	-	20	5000	900	100 / 560	2	200	1	217-8206	14,00	11,90	9,80	
ZTX300	Zetex	25	600	300	50 / 300	0,35	150	5	294-457	10,50	8,93	7,35	
BC549	Motorola	30	100	625	110 / 800	-	250	5	296-100	4,00	3,40	2,80	
BC183L	STM	30	200	300	120 / -	-	150	5	264-080	4,00	3,40	2,80	
BC184L	Motorola	30	200	300	240 / -	-	150	5	294-283	5,00	4,25	3,50	
2N3704	Motorola	30	800	360	300 / -	-	100	5	295-905	6,00	5,10	4,20	
ZTX302	Zetex	35	500	300	100 / -	0,25	150	5	263-942	12,00	10,20	8,40	
2N3904	N.S.	40	200	350	100 / 300	0,3	300	5	294-312	5,80	4,93	4,06	
2N2222A	Motorola	40	600	625	100 / 300	0,3	300	5	169-9623	9,90	8,42	6,93	
ZTX1051A	Zetex	40	4000	1000	300 / 1200	0,21	155 (typ)	5	215-6486	29,50	25,08	20,65	
BC547B	N.S.	45	100	625	110 / 800	0,6	150	5	131-1020	4,10	3,49	2,87	
BC237B	Motorola	45	100	350	200 / 460	0,6	150	5	642-531	3,00	2,55	2,10	
BC337-25	Motorola	45	500	800	160 / 400	-	60	5	169-9617	5,50	4,68	3,85	
BC337	N.S.	45	800	625	100 / 630	0,7	210 (typ)	5	211-1430	5,70	4,85	3,99	
ZTX450	Zetex	45	1000	1000	100 / 300	0,25	150	5	652-702	13,70	11,65	9,59	
BC635	N.S.	45	1500	600	40 / 250	0,5	130 (typ)	5	157-7135	4,95	4,21	3,47	
ZTX650	Zetex	45	2000	1000	100 / 300	0,5	140	5	841-182	26,00	22,10	18,20	
ZTX690B	Zetex	45	2000	1000	150 / -	0,5	150	5	841-205	23,70	20,15	16,59	
BC182B	N.S.	50	100	350	240 / 500	0,6	150	5	131-1301	4,10	3,49	2,87	
BC182L	STM	50	200	300	120 / -	-	150	5	294-277	4,50	3,83	3,15	
BFR40	N.S.	60	1000	800	75 / -	-	100	5	131-0780	46,65	39,65	32,66	
ZTX451	Zetex	60	1000	1000	50 / 150	0,35	150	5	N 841-154	12,00	10,80	9,60	
BC637	N.S.	60	1500	600	40 / 250	0,5	130 (typ)	5	131-1468	4,95	4,21	3,47	
ZTX651	Zetex	60	2000	1000	100 / 300	2	175	5	N 295-501	19,15	17,24	15,32	
ZTX851	Zetex	60	5000	1200	100 / 300	0,25	130 (typ.)	5	841-233	33,70	28,65	23,59	
BC546	Motorola	65	100	625	110 / 450	0,6	150	5	296-071	4,00	3,40	2,80	
ZTX1053A	Zetex	75	3000	1000	300 / 1200	0,25	140 (typ)	5	215-6492	29,50	25,08	20,65	
BC639	Frimps	80	300	625	40 / 160	0,5	200 (typ)	5	112-4775	8,35	7,10	5,85	
ZTX453	Zetex	100	1000	1000	40 / 200	0,7	150	5	296-239	19,00	16,15	13,30	
ZTX653	Zetex	100	2000	1000	100 / 300	0,5	140	5	295-517	30,00	25,50	21,00	
ZTX853	Zetex	100	4000	1200	100 / 300	0,2	130 (typ)	5	841-249	34,00	28,90	23,80	
ZTX600B	Zetex	140	1000	1000	1000 / 100K	1,2	250	5	N 296-223	21,00	18,90	16,80	
MPS442	Motorola	300	500	625	40 / -	0,5	50	5	295-214	8,00	6,80	5,60	
TO-92 - PNP													
2N3702	Motorola	25	200	360	60 / -	-	100	5	295-898	6,00	5,10	4,20	
ZTX500	Zetex	25	500	300	50 / 300	0,35	150	5	294-463	11,00	9,35	7,70	
BC214C	N.S.	30	100	350	140 / 600	0,6	320	5	294-306	9,00	7,65	6,30	
BC213L	STM	30	200	300	70 / -	-	200	5	264-096	4,00	3,40	2,80	
2N3703	Motorola	30	200	360	30 / -	-	100	5	264-052	5,00	4,25	3,50	
ZTX502	Zetex	35	500	300	100 / 300	0,25	150	5	263-936	12,50	10,63	8,75	