

# Investigation : le transistor, interface de puissance

Nom :

Prénom :

Classe

## Problématique

Dans le cadre de notre projet, nous devons commander un moteur 37W 12V, 1,1A, Je cherche à le faire à partir d'un micro-contrôleur. Comment puis-je le faire ?

## Je prends connaissances du dialogue suivant sur le transistor

Nicolas : Émilie, j'ai besoin de commander un moteur à partir de ma carte Arduino®, sais-tu comment faire ?

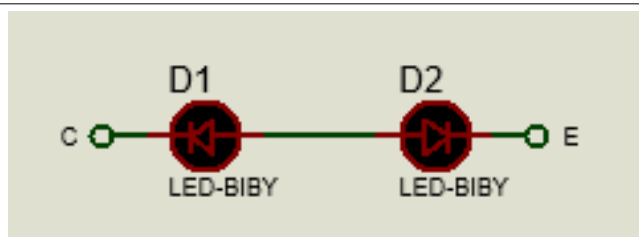
Émilie : Tu a été regardé du côté des transistors ?

N : .... tu peux me rappeler ce qu'est un transistor Émilie ?

E : Vas sur le Web Nicolas, cela est expliqué des centaines de fois... C'est pour cela, que ma fois, je n'ai pas envie de répéter les cours sur les transistors...

N : Je sais Émilie, mais quand c'est toi qui expliques, cela passe mieux dans mes neurones...

E : OK Nicolas, mais avant, peux-tu représenter un montage avec deux diodes tête-bêche sur ce circuit entre C et E ? Et ... représenter le passage du courant ?

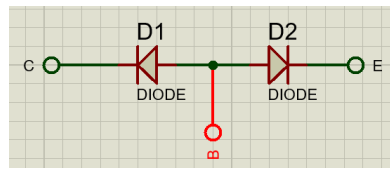


N : Ben Émilie, tu te moques de moi, tes diodes elles ne me servent à rien branchées comme ça elles ne peuvent même pas conduire le courant, et puis je veux comprendre le transistor !

E : J'y arrive Nicolas, par un coup de baguette technologique, elles vont devenir passantes, en ajoutant une troisième broche juste au milieu : la Base. Si tu polarise la Base avec quelques milliampères tu peux faire passer un courant important entre C et E. Ce courant peut atteindre plusieurs ampères.

L'importance de ce courant dépend de la puissance que peuvent admettre les diodes (le transistor).

# Investigation : Le convertisseur analogique numérique CAN



E : Le transistor a donc trois broches que l'on appelle Base, Émetteur et Collecteur. Voilà Nicolas, expliqué l'effet transistor. Le transistor a donc un rôle amplificateur de tension et de courant.

N : C'est tout !

E : Ben... Oui

## Je résume ce que j'ai retenu

Le transistor est un composant qui comporte trois (3) broches, l'émetteur, la base et le collecteur. La base est la broche qui sépare les deux diodes. \_\_\_\_\_

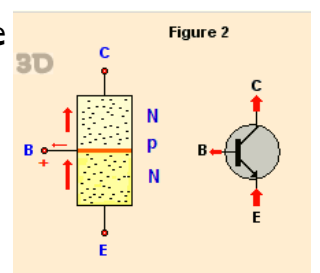
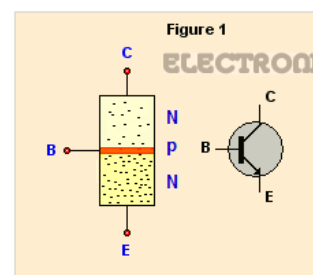
## Ce chapitre traite du transistor NPN.

E : Maintenant, voyons comment les choses fonctionnent. Tu as vu<sup>1</sup> que les diodes sont constituées de silicium, soit de type P soit de type N. Prenons du silicium de type P fortement dopé d'un côté (Émetteur) et un peu moins dopé de l'autre côté (Collecteur). J'intercale une très mince couche de silicium de type N au milieu (Base). Et voilà, je viens de construire un transistor NPN.

E : En l'absence de polarisation des broches (figure 1), le transistor est stable, c'est-à-dire que les électrons majoritaires d'un côté ne migrent pas vers le côté minoritaire, la base se comporte en quelque sorte comme un isolant.

N : C'est comme un interrupteur ouvert alors ?

E : Tout à fait Nicolas. Maintenant (figure 2), tu polarises la base au plus (NPN) avec une tension de 0,65 Volt environs, le surplus d'électrons rompt l'équilibre et, le transistor conduit. Un fort courant s'établit, les électrons passent de l'émetteur au collecteur. On dit que le transistor est saturé.



<sup>1</sup><https://www.youtube.com/watch?v=mmfm2mPJJaRA>

## Investigation : Le convertisseur analogique numérique CAN

N : Comme un interrupteur fermé !

E : Encore juste Nicolas. Maintenant que tu as compris le fonctionnement du transistor NPN, peux-tu m'expliquer le fonctionnement d'un transistor PNP ?

A l'aide de la figure 3 je réponds à Émilie

La polarisation de la base au négatif permet le passage d'un courant plus fort de l'émetteur vers le collecteur. \_\_\_\_\_

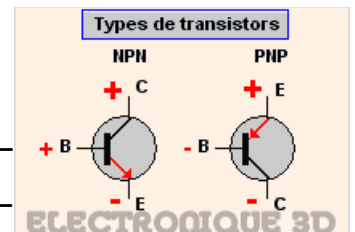


Figure 3

N : Et comment se rappeler de la polarisation d'un transistor, Émilie ?

E : Simple, Nicolas, on considère le Collecteur et la lettre du milieu donne sa polarité. Exemple, un transistor NPN, P=Positif, le collecteur est donc relié au positif. Un transistor PNP, N= Négatif, le collecteur est relié au négatif. As-tu compris Nicolas ?

Je le prouve à Émilie en écrivant ce que j'ai compris

Il y a deux types de transistors, les NPN (les plus courants) et les PNP. Dans les NPN, le collecteur et la base sont reliés au positif. Dans les PNP, le collecteur et la base sont reliés au négatif. \_\_\_\_\_

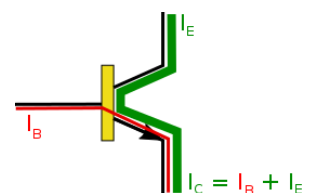
E : Nicolas, tu as bien suivi. Maintenant nous pouvons passer à une notion importante, le gain du transistor.

N : Ce ne serait pas un rapport entre l'intensité dans la base ( $I_B$ ) et l'intensité dans le collecteur ( $I_C$ ) Émilie ?

E : Bravo Nicolas, c'est tout à fait ça. En dessous de 0,65 Volt, seuil de conduction d'une diode, le transistor est bloqué. Une fois cette tension dépassée, le transistor conduit on dit qu'il sature.

E : Le gain du transistor varie dans une très large proportion (10 à 800 fois environ). Il dépend du transistor. La notion importante à savoir, est que le courant traversant le Collecteur ( $I_C$ ) est fonction du courant de Base ( $I_B$ ) multipliée par le gain du transistor.

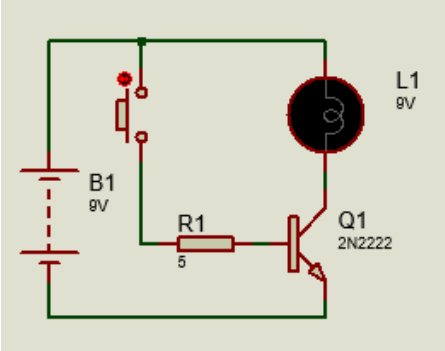
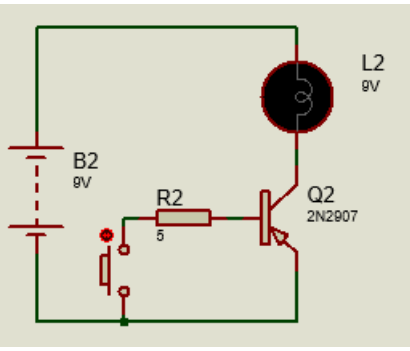
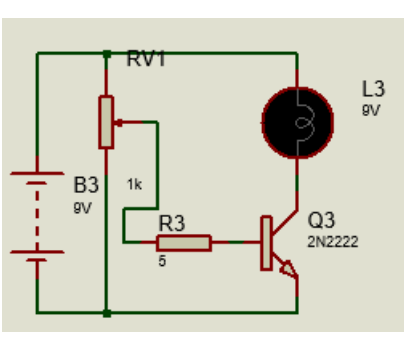
Je représente  $I_C$  et  $I_B$  sur le symbole d'un transistor NPN.



$$I_C = I_B * \text{Gain du transistor (Béta } (\beta) \text{ ou } h_{FE})$$

# Investigation : le convertisseur analogique numérique CAN

Je représente le schéma d'alimentation d'une lampe 9V 80mA

Par un transistor NPN et un interrupteur	Par un transistor PNP et un interrupteur	Par un transistor NPN et un potentiomètre
		
Je complète le type d'allumage pour chaque montage		
Tout au rien (ToR)	Tout ou Rien (ToR)	Progressif, variant

Tu remarques Nicolas la présence d'une résistance (R1) sur la base du transistor. Cette résistance sert à limiter le courant de base. En effet, un courant de base trop important est destructeur pour le transistor.

Je calcule la résistance de base pour allumer une lampe de 9V 80mA.

- Je justifie que le transistor 2N2222<sup>2</sup> dispose des caractéristiques nécessaires.

Caractéristiques	$V_{CE}$	$V_{CESat}$	$I_{CMax}$	$\beta$ ou $H_{FE}$
Valeur	40 V	0,3 V	800 mA	100/300

$I_{CMax}$  est supérieur à 80 mA et  $V_{CE}$  est supérieur à 9V donc le transistor dispose des caractéristiques nécessaire pour commander l'allumage de la lampe. \_\_\_\_\_

- Je calcule le courant  $I_B$  (Intensité de la base).

$$I_C = I_B \times \beta \Rightarrow 0,08 = I_B \times \beta \Rightarrow I_B = 0,08/100 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,8 \text{ mA}$$

<sup>2</sup> Voir tableau en page 8

## Investigation : Le convertisseur analogique numérique CAN

3. j'en déduis la résistance maximale nécessaire

$$U = R_1 I_B \Rightarrow R_1 = U / I_B = (9 - 0,65) / 8 \cdot 10^{-4} = 8,35 / 8 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^4 \Omega = 10 \text{ k}\Omega$$

Cette valeur est la résistance maximum à mettre sur la base. Mais, au vu des grandes divergences de gains des transistors, il faut prendre une valeur inférieure pour être sûr que le transistor conduise (sature) pour que la lampe soit alimentée correctement (5 à 7 k Ohms).

### Reprise du dialogue

E : Nicolas, je continue. Jusqu'à maintenant, tu as vu le transistor travailler en commutation (tout ou rien), un peu comme un interrupteur. Cette utilisation est d'amplifier un courant continu appliqué sur sa base.

E : Ce n'est pas sa seule application. Il peut également amplifier un signal alternatif, que ce soit de la basse fréquence ou de la haute fréquence. Un assemblage en cascade de plusieurs transistors peut ainsi amplifier jusqu'à 100000 fois et plus le signal. Mais ceci est une autre histoire.

**Je rédige 2 questions avec leur réponse pour compléter le préquiz.**

---

---

---

---

---

---

---

---

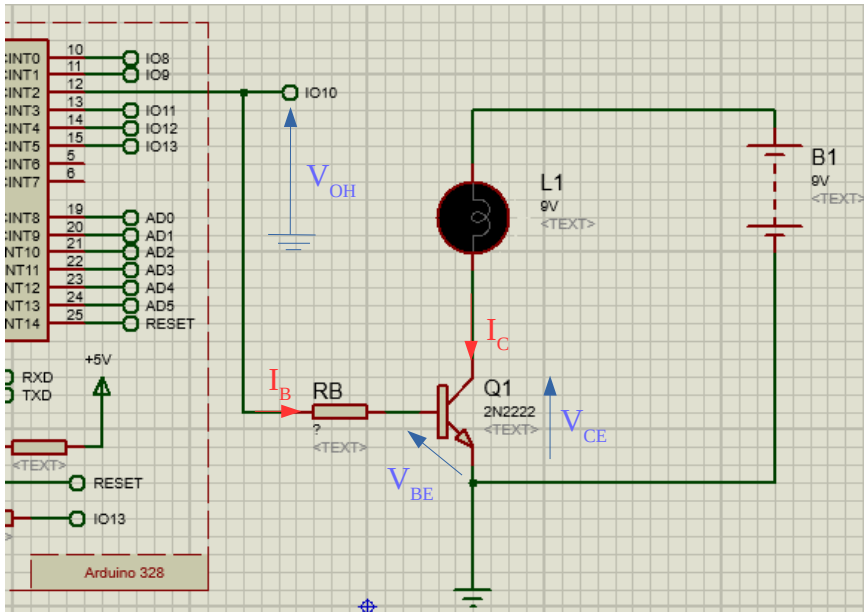
---

---

# Investigation : le convertisseur analogique numérique CAN

## Exercice 1 : dimension d'une résistance

1. J'identifie sur le schéma suivant l'Emetteur, la Base et le Collecteur,
2. Je représente sur le schéma suivant  $V_{OH}$ ,  $V_{BE}$ ,  $V_{CEsat}$  et  $U_{RB}$ ,  $I_C$ ,  $I_B$



$R_{L1} = 50 \Omega$   
 $V_{CE} = 0,2V$   
 $V_{BE} = 0,7V$   
 $200 \leq \beta \leq 300$   
 $V_{OH} = 5V$  (tension entre Pin10 et GROUND)

3. A partir des données je calcule la résistance  $R_B$  qui permet la saturation du transistor tout en le protégeant.

Je calcule  $I_C$

Loi d'Ohm :  $U = RI \Rightarrow I_C = V_{L1} / R_{L1} = (V_{B1} - V_{CE}) / R_{L1} = (9 - 0,2) / 50 = 0,176 A$

Loi des mailles  $V_{L1} + V_{CE} + V_{B1} = 0$

Je calcule  $I_B$

Gain du transistor : 100 à 300  $\Rightarrow$  nous choisissons la plus petite valeur par sécurité

Formule du gain d'un transistor :  $I_C = I_B \times \beta$

$I_C = I_B \times \beta \Rightarrow I_B = I_C / \beta = 176 \cdot 10^{-3} / 100 = 176 \cdot 10^{-5} = 0,18 mA$

Je calcule  $R_B$

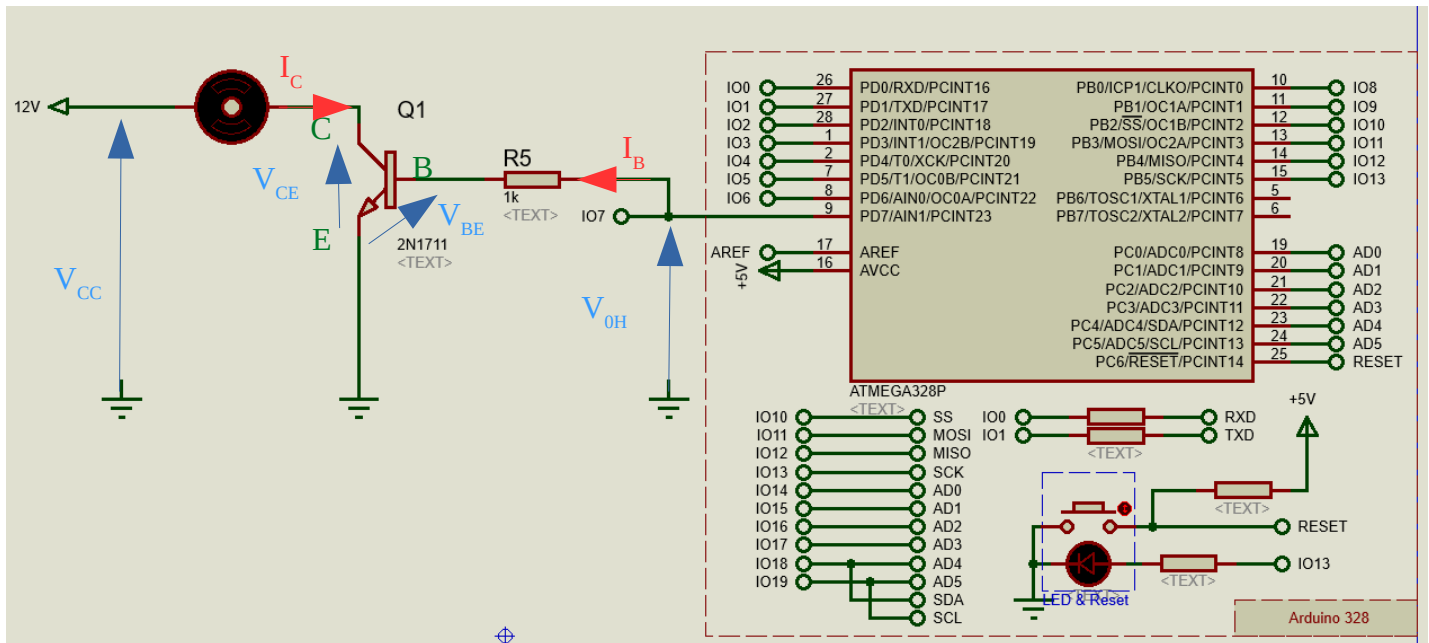
Loi d'Ohm :  $V_{OH} = R_B I_B \Rightarrow R_B = V_{OH} / I_B = 5 / (176 \cdot 10^{-5}) = 2841 \Omega \Rightarrow R_B = 1\,500 \Omega$

Pour garantir un bon fonctionnement du transistor, je choisis une résistance normalisée 2 à 3 fois plus petite. Soit ici une résistance de 1,5 k $\Omega$ .

## Investigation : le convertisseur analogique numérique CAN

## Exercice 2 : Je réponds à la problématique

1. J'identifie la base, le collecteur et l'émetteur sur le transistor.
2. Je place sur le schéma  $V_{OH}$ ,  $V_{CC}$  (tension du générateur),  $V_{CE}$ ,  $V_{BE}$ ,  $I_B$  et  $I_C$ .



- Je choisis le transistor Q1. La puissance du moteur est de 20 W  
Il faut que le transistor supporte un courant de 12V et une  $I_{\max}$  de 1,67 A  
Détermination de  $I_C$  :  
 $P_{\text{moteur}} = V_{CC} I_C \Rightarrow I_C = V_{CC}/I_C = 20/12 = 1,67 \text{ A}$  (nous considérons  $V_{CE}$  comme nul dans le calcul)  
J'ai le choix entre plusieurs transistors, je choisis le ZTX898 car  $V_{\max} = 20 \text{ V}$  qui est supérieure aux 12 V de l'alimentation et  $I_{\max} = 3 \text{ A}$  supérieur à  $I_C$ .
- Je calcule la résistance R5.  
 $I_C = I_B \times \beta \Rightarrow I_B = I_C / \beta \Rightarrow 1\,666/150 = 11 \text{ mA}$ .  
Loi d'Ohm :  $U = RI \Rightarrow R5 = V_{\text{OH}}/I_B = 5/11 = 454 \, \Omega$   
Je choisis une résistance de 200  $\Omega$  pour tenir compte de la variabilité entre les transistors et être sûr de pouvoir le saturer.
- Je valide la compatibilité du montage avec une carte Arduino dont l'intensité du courant de sortie est de 40 mA.  
 $I_B$  est donc compatible avec la carte Arduino qui délivre jusqu'à 40 mA. La carte pourra donc saturer le transistor.

# Investigation : le convertisseur analogique numérique CAN

## Sources

Dialogue d'après [http://www.electronique-3d.fr/Le\\_Transistor.html](http://www.electronique-3d.fr/Le_Transistor.html) consulté le 20/01/17



# Investigation : le convertisseur analogique numérique CAN

## Transistors

### Transistors petits signaux

#### Transistors bipolaires



TO-18



TO-39



TO-92



SOT-23



SOT-223



SOT-323



SOT-89

réf.	fab.	V <sub>ces</sub> (V max.)	I <sub>c</sub> max. (mA)	P <sub>tot</sub> (mW max.)	h <sub>FE</sub> (min./max.)	V <sub>cesat</sub> (V max.)	f <sub>t</sub> (MHz min.)	U.D.V.	code commande	prix de l'U.D.V.		
										1-19	20-99	100 +
<b>Transistors faibles signaux</b>												
<b>TO-18 - NPN</b>												
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
<b>TO-18 - PNP</b>												
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
<b>TO-39 - NPN</b>												
2N2219A	Motorola	40	800	800	100 / 300	0,3	300	1	126-8288	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
<b>TO-39 - PNP</b>												
8FY52	-	20	1000	800	60 / 142	1	50	5	N 293-656	18,55	13,91	9,28
8FY51	-	30	1000	800	15 / 55	1,6	110	5	N 293-640	21,60	16,20	10,80
8FY50	-	35	1000	800	15 / 70	1	100	5	N 293-634	22,60	16,95	11,30
8FX88	-	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
<b>TO-92 - NPN</b>												
BCU81	-	10	3000	750	140 / -	2	200	1	217-8199	8,35	7,10	5,85
2N2365A	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 263-820	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	500	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	131-1430	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	800	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
BCR40	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	Philips	80	500	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
MPSA42	Motorola	300	500	625	40 / -	0,5	50	5	295-214	8,00	6,80	5,60
<b>TO-92 - PNP</b>												
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