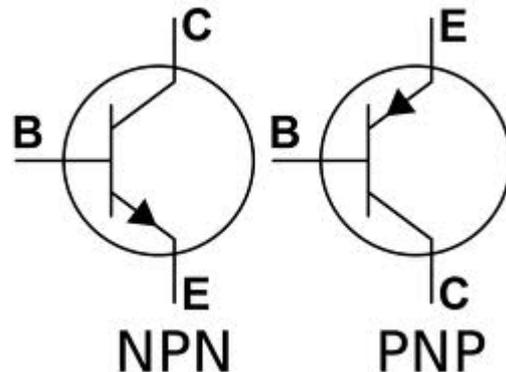


## LES TRANSISTORS



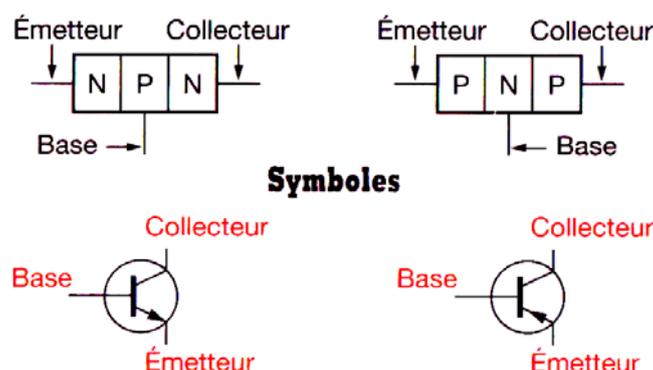
### Objectifs du cours :

Ce cours traitera essentiellement les points suivants :

- présentation et symbolisation du transistor
- polarisation d'un transistor :
  - règles
  - caractéristiques d'un transistor
  - principe
  - calcul de la résistance de base
- exercice d'application

### PRÉSENTATION ET SYMBOLES

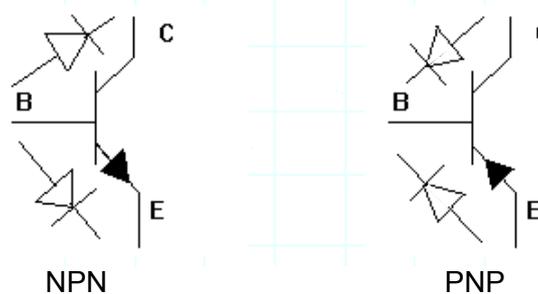
Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



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.

## 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 :

$V_{CEO}$  ou  $V_{MAX}$  : tension collecteur/émetteur maxi (à  $V_{BB} = 0$ )

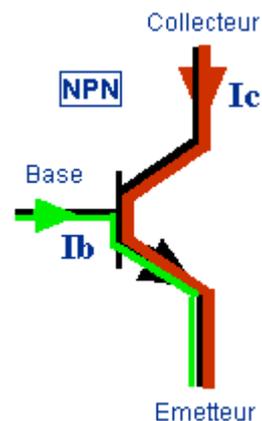
$V_{BEO}$  : tension base/émetteur maxi

$I_C$  max : courant maxi dans le collecteur

$P$  : puissance maxi que peut dissiper le transistor (avec  $P = V_{CE} \cdot I_C$ )

## PRINCIPE

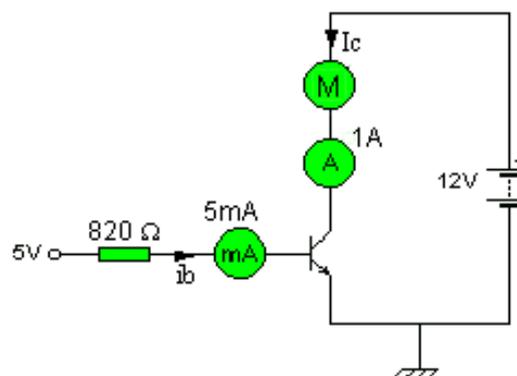
C'est un petit courant dans **la base ( $I_b$ )** qui permet le passage d'un courant beaucoup plus fort du **collecteur vers l'émetteur ( $I_c$ )**.



Le courant de base est multiplié par un coefficient

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

Dans le cas présent le courant dans le moteur est égal à 200 fois le courant de base.



### Remarques :

Ce coefficient  $\beta$  (gain en courant du transistor) 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 :

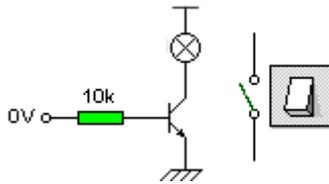
Transistors dit "petit signaux" :  **$100 < \beta < 300$**

Transistors dit de "puissance" :  **$30 < \beta < 100$**

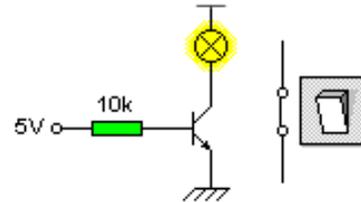
## CALCUL DE LA RÉSISTANCE DE BASE

La résistance de base doit être calculée pour avoir un courant de base suffisant. Quand le transistor est utilisé en commutation, deux cas sont possibles.

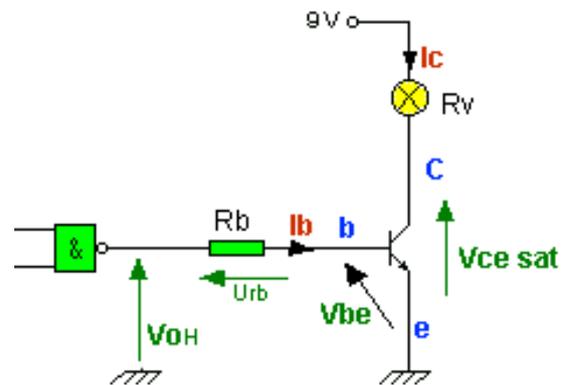
Soit le courant de base est nul et le transistor est **bloqué**. Il est équivalent à un interrupteur **ouvert**.



Soit le courant de base est suffisant et le transistor est **saturé**. Il est équivalent à un interrupteur **fermé**.



$R_v = 50 \Omega$   
 $V_{ce \text{ sat}} = 0,2 \text{ V}$   
 $V_{be} = 0,7 \text{ V}$   
 $200 \leq \beta \leq 300$   
 $V_{oH} = 3,5 \text{ V}$



Le point de départ pour le calcul d'une résistance de base  $R_b$  est le courant  $I_c$ . Ce courant est calculé en fonction de la résistance de la charge et de la tension à ses bornes. Attention, la tension  $V_{ce \text{ sat}}$  est proche de 0 V mais pas nulle.

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{cesat}}{R_b} = \frac{9 - 0,2}{50} = 0,176 \text{ A}$$

Le courant de base  $I_b$  doit être suffisant pour saturer le transistor :  $I_b \geq \frac{I_c}{\beta}$

Si dans notre cas  $\beta$  est au moins égal à 200 d'après la documentation constructeur, il nous faut

$$I_b = \frac{0,176}{200} = 0,00088 \text{ A soit } 0,88 \text{ mA}$$

Connaissant  $I_b$ , il est maintenant possible de calculer  $R_b$  :

$$R_b = \frac{U_{rb}}{I_b} \text{ et } V_{oH} = U_{rb} + V_{be}$$

$V_{oH}$  est la tension au niveau haut en sortie de la porte NAND :  $V_{oH} = 3,5 \text{ V}$  selon la documentation.

$$U_{rb} = V_{oH} - V_{be} = 3,5 - 0,7 = 2,8 \text{ V}$$

Nous pouvons calculer  $R_b$  théorique :

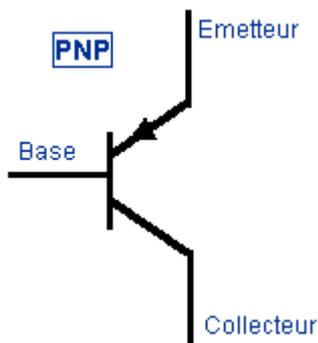
$$R_b = \frac{U_{rb}}{I_b} = \frac{2,8}{0,88 \times 10^{-3}} = 3181 \Omega = 3,181 \text{ K}\Omega$$

Pour garantir une bonne saturation, il est d'usage de choisir une résistance normalisée 2 à 3 fois plus petite, ou on adopte un coefficient de "sursaturation" compris entre 2 et 3  $I_b$ .

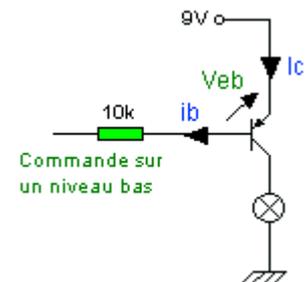
Nous choisirons  $R_b = 1,2 \text{ k}\Omega$

## AUTRES TRANSISTORS

### Le transistor PNP

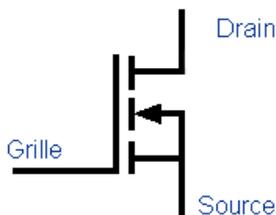


Le courant de base change de sens et  $V_{be}$  est négatif. La charge est maintenant sur le collecteur et la commande se fait sur un niveau bas.



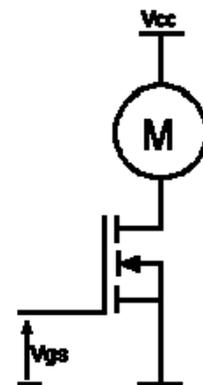
### Le transistor MOS

#### MOS canal N



Le courant sur la grille est nul, c'est la tension  $V_{gs}$  qui détermine l'état du transistor. Le courant étant nul, il est possible de commander un fort courant sans énergie de commande. On utilise souvent des MOS de puissance pour l'alimentation des moteurs à courant continu.

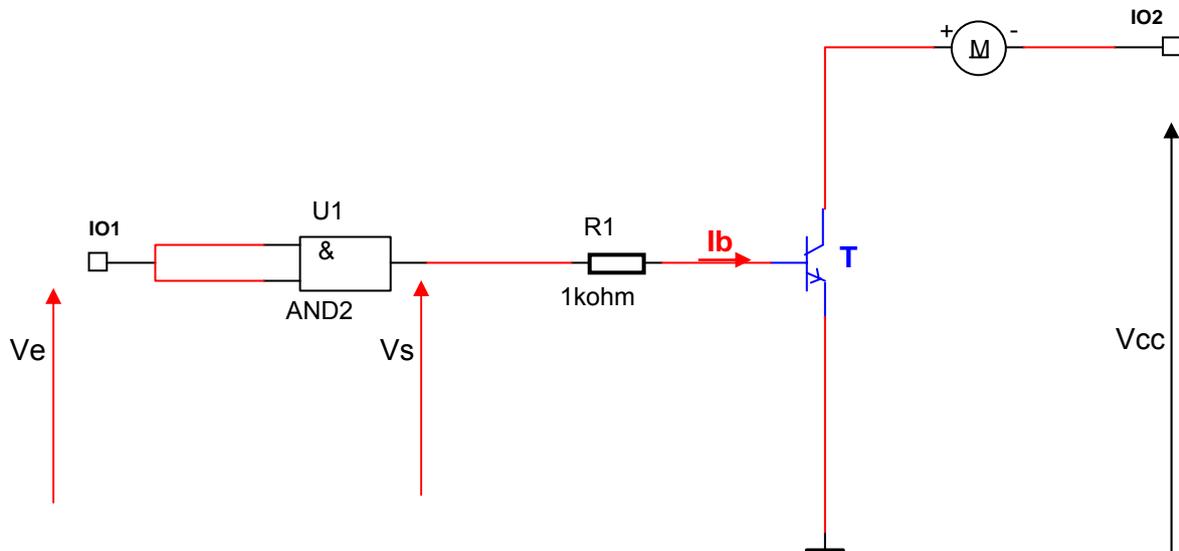
$V_{gs}$  positif => T saturé  
 $V_{gs}$  nul => T bloqué



## EXERCICE D'APPLICATION

### Question 1 :

D'après le schéma et les caractéristiques page suivante, définir la tension d'alimentation  $V_{cc}$  ainsi que les tensions  $V_e$  et  $V_s$ .



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

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 Vcc. La tension  $V_s$  à l'état haut (1L) est donc de 5 Vcc.  $V_e$  sera donc aussi de 5 Vcc car  $V_e = V_s$  du CI.

### Question 2 :

Choisir le transistor  $T$  (voir document constructeur en page 8).

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 :

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

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

Et il faut que  $I_C \text{ max}$  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 choisit 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 Hfe de 100 à 300 on a donc  $I_{b \text{ mini}} = I_c / H_{fe \text{ mini}}$  soit  $1666 / 100 = 16 \text{ mA}$

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  $I_{b \text{ mini}}$  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>ce</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.)	ft (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	126-9288	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	
<b>TO-39 - PNP</b>													
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	
<b>TO-92 - NPN</b>													
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	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	
P2N2222A	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	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	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	