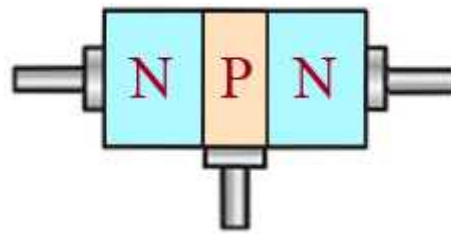
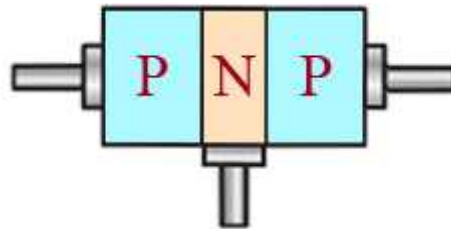


ترانزیستور یکی از پرکاربردترین قطعات در صنعت الکترونیک است که با اختراع آن در سال 1947 میلادی تحولی عظیم در صنعت الکترونیک به وقوع پیوست. ترانزیستور معمولی، یک المان سه قطبی معمولی است که از سه عدد نیمه هادی نوع N و P تشکیل شده است. (برای آشنایی با نیمه هادی ها، به صفحه آشنایی با نیمه هادی ها از همین وب سایت مراجعه فرمایید). (این نیمه هادی ها به دو شکل می توانند در کنار هم قرار گیرند. الف) دو نیمه هادی نوع N در دو طرف و یک نیمه هادی نوع P در وسط قرار می گیرند که در این حالت ترانزیستور را NPN می نامند. در شکل (1) نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.



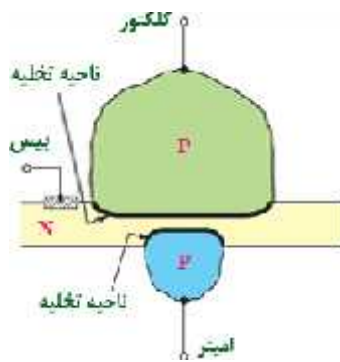
شکل 1

ب) دو نیمه هادی نوع P در دو طرف و یک نیمه هادی نوع N در وسط قرار می گیرند که در این حالت ترانزیستور را PNP می نامند. در شکل (2) نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.



شکل 2

پایه های ترانزیستور را امیتر (Emitter)، بیس (Base) و کلکتور (Collector) می نامند که امیتر با حرف E، بیس با حرف B و کلکتور با حرف C نمایش می دهند. نیمه هادی نوع N یا P که به عنوان امیتر به کار می رود، نسبت به لایه های بیس و کلکتور دارای ناخالصی بیشتری می باشد. ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است و سطح تماس آن نیز بستگی به فرکانس کار و قدرت ترانزیستور دارد. لایه بیس نسبت به لایه های کلکتور و امیتر دارای ناخالصی کمتری است و ضخامت آن نیز به مراتب کمتر از ضخامت لایه های امیتر و کلکتور می باشد و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی کند. ناخالصی لایه کلکتور از لایه امیتر کمتر و از لایه بیس بیشتر است. ضخامت این لایه به مراتب بزرگتر از ضخامت لایه امیتر می باشد زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در لایه کلکتور ایجاد می شود. سطح تماس لایه کلکتور با لایه بیس حدوداً نه برابر سطح تماس لایه امیتر با لایه بیس می باشد. در شکل (3) تصویری از نسبت تقریبی ضخامت و سطح تماس لایه های ترانزیستور نمایش داده شده است.



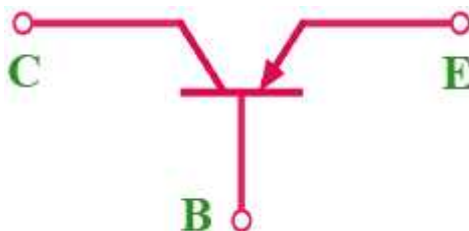
شکل 3

این نوع ترانزیستورها را به اختصار BJT می نامند که از عبارت Bipolar Junction Transistor به معنای ترانزیستور پیوندی دوقطبی گرفته شده است . در شکل (4) یک نمونه ترانزیستور BJT نمایش داده شده است.

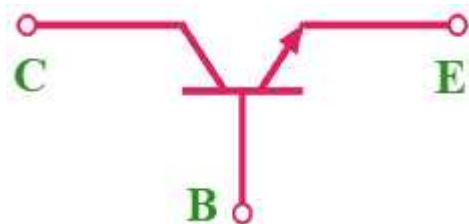


شکل 4

در مدارها برای نشان دادن ترانزیستور از علامت اختصاری آنها استفاده می کنند . در شکل (5) علامت اختصاری ترانزیستور PNP و در شکل (6) علامت اختصاری ترانزیستور NPN نمایش داده شده است . جهت فلش در علامت اختصاری ترانزیستور ، نشان دهنده جهت قراردادی جریان در پیوند بیس – امیتر است.

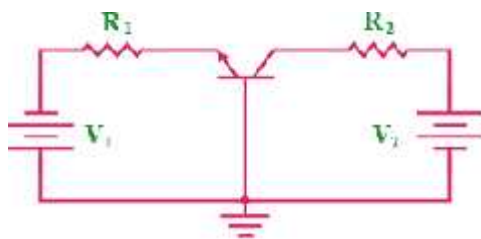


شکل 5



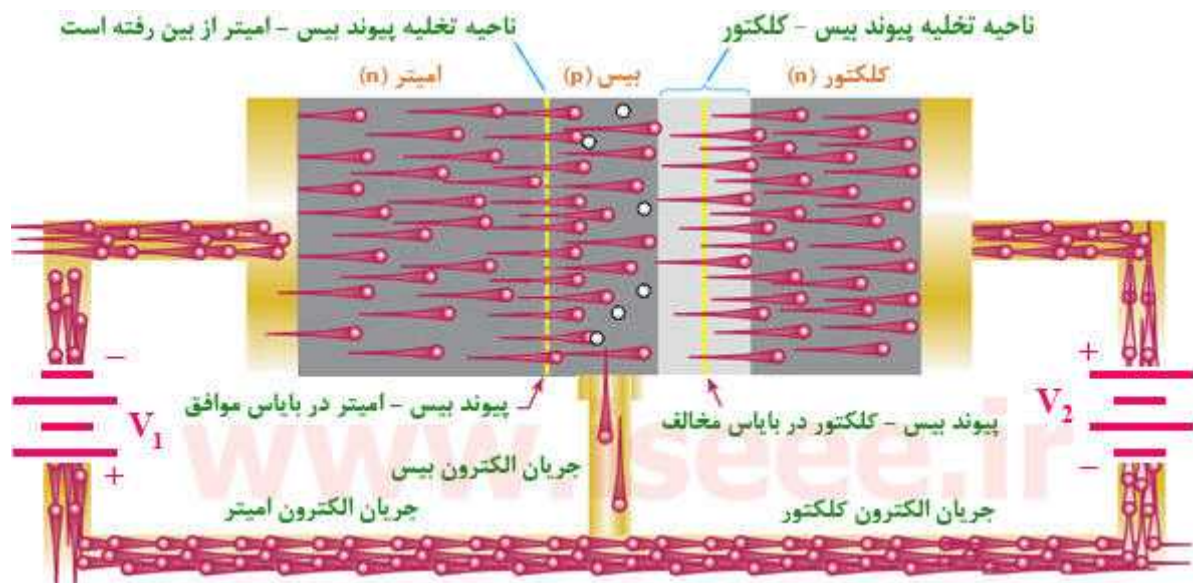
شکل 6

بایاسینگ ترانزیستور : به منظور فعال کردن ترانزیستور در مدار ، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC تغذیه کرد . عمل تغذیه ولتاژ پایه های ترانزیستور را بایاسینگ ترانزیستور می گویند . برای اینکه ترانزیستور عمل تقویت جریان و یا تقویت ولتاژ را به درستی انجام دهد باید اتصال بیس – امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس – کلکتور در بایاس معکوس باشد . در شکل (7) این نوع بایاسینگ برای یک ترانزیستور NPN نمایش داده شده است .



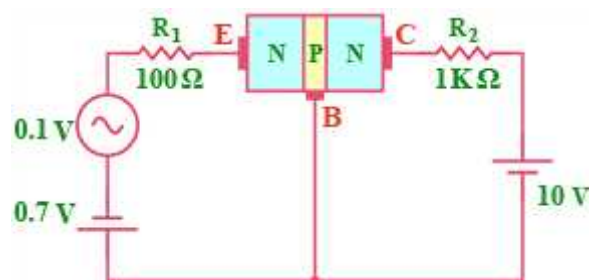
شکل 7

چون پیوند بیس - امیتر، در بایاس مستقیم است ناحیه تخلیه پیوند بیس - امیتر از بین می رود (جهت آشنایی با اتصال نیمه هادی ها و ایجاد ناحیه تخلیه بین آنها و نیز تأثیر بایاس مستقیم و معکوس بر ناحیه تخلیه، به صفحه دیود از همین وب سایت مراجعه فرمایید) و الکترونهای قطب منفی منبع تغذیه V_1 پس از عبور از مقاومت R_1 که به منظور کنترل جریان مورد استفاده قرار گرفته، وارد لایه امیتر می شوند و پس از عبور از لایه امیتر خود را به لایه بیس می رسانند. اما در این زمان با توجه به اینکه پیوند بیس - کلکتور در بایاس معکوس است و عرض ناحیه تخلیه این پیوند زیاد است انتظار می رود که تمامی الکترونهای موجود در لایه بیس از طریق پایه بیس خود را به قطب مثبت منبع تغذیه V_1 برسانند و هیچ الکترونی از لایه بیس وارد لایه کلکتور نشود اما در عمل چنین اتفاقی نمی افتد بلکه قسمت اعظم الکترونهای موجود در لایه بیس وارد لایه کلکتور می شوند و پس از عبور از این لایه و مقاومت R_2 خود را به قطب مثبت منبع تغذیه V_2 می رسانند و فقط تعداد کمی از الکترونهای موجود در لایه بیس، خود را از طریق پایه بیس به قطب مثبت منبع تغذیه V_1 می رسانند. علت این عمل این است که اولاً ولتاژ پایه کلکتور بیشتر از ولتاژ پایه بیس است و این ولتاژ قادر است الکترونهای موجود در لایه بیس را به طرف خود جذب کند. ثانیاً لایه بیس بسیار نازک است و الکترونها به محض وارد شدن به لایه بیس، جذب کلکتور می شوند. ثالثاً سطح کلکتور حدود 9 برابر بزرگتر از سطح امیتر است لذا احاطه کامل بر ورود الکترونهای وارد شده به بیس داشته و تقریباً تمامی آنها را جذب می کند. رابعاً ناخالصی بیس کم است و در نتیجه الکترونهای وارد شده به بیس، کمتر با حفره ها ترکیب می شوند و تعداد زیادی از آنها به صورت الکترون آزاد باقی می ماند. با توجه به مطالب فوق تقریباً بیش از 90% الکترونها که وارد بیس می شوند مدار خود را از طریق کلکتور می بندند. در شکل (8) نسبت تقریبی تقسیم الکترونها بین امیتر، کلکتور و بیس نمایش داده شده است.



شکل 8

حال که با بایاسینگ صحیح ترانزیستور آشنا شدید می خواهیم بررسی کنیم که ترانزیستور چگونه عمل تقویت کنندگی را انجام می دهد. برای تقویت یک سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور، باید سیگنال الکتریکی را به ورودی ترانزیستور داده و از خروجی ترانزیستور، سیگنال تقویت شده را دریافت کنیم. در شکل (9) مدار مربوط به تقویت سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور نمایش داده شده است.



شکل 9

در این شکل پایه بیس به عنوان پایه مشترک بین ورودی و خروجی و پیوند امیتر - بیس به عنوان ورودی و پیوند کلکتور - بیس به عنوان خروجی آن در نظر گرفته شده است. پیوند بیس - امیتر در بایاس مستقیم است و لذا مقاومت آن کم می باشد اما پیوند بیس - کلکتور در بایاس معکوس بوده و لذا مقاومت زیادی دارد. حال یک مقاومت مثلاً 100 اهمی را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس - امیتر سری می نماییم. از آن جایی که اتصال کلکتور - بیس در بایاس معکوس می باشد لذا سری کردن یک مقاومت زیاد مثلاً 1 کیلو اهمی، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد. یک سیگنال

متناوب با دامنه مثلاً 0.1 ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می کنیم . ولتاژ امیتر - بیس را نیز حدود 0.7 ولت انتخاب می کنیم زیرا 0.7 ولت ، پیوند امیتر - بیس را کاملاً هادی می کند . ولتاژ کلکتور - بیس را نیز حدود 10 ولت انتخاب می کنیم و چون پیوند کلکتور - بیس در بایاس معکوس است لذا هیچ گونه اشکالی در مدار به وجود نمی آید . حال اگر مقاومت دینامیکی پیوند امیتر - بیس را مثلاً 20 اهم فرض کنیم جریانی که در پیوند امیتر - بیس برقرار می شود برابر است با:

$$I = \frac{0.1V}{100\Omega + 20\Omega} = 0.83mA$$

همانطور که قبلاً گفته شد قسمت اعظم جریان گذرنده از پیوند امیتر - بیس از طریق کلکتور مسیر خود را می بندد و لذا این جریان از کلکتور و مقاومت یک کیلو اهمی که با کلکتور سری شده است نیز عبور می کند و در دو سر مقاومت یک کیلو اهمی افت ولتاژ متناوبی ایجاد می شود که مقدار آن برابر است با:

$$V = 0.83mA \times 1K\Omega = 0.83V$$

همانطور که مشاهده می کنید این ولتاژ خیلی بیشتر از ولتاژ متناوب ورودی است . لذا می توان سیگنال تقویت شده را از دو سر مقاومت یک کیلو اهمی دریافت کرد . ضریب تقویت یا بهره ولتاژ این مدار از رابطه زیر بدست می آید.

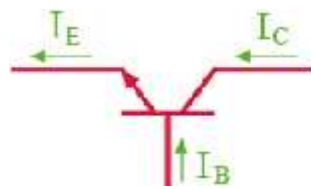
$$A_V = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{0.83V}{0.1V} = 8.3$$

بنابراین با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقاوت ها می توان دامنه سیگنال را به هر مقدار دلخواه تقویت نمود . همانطور که مشاهده کردید جریانی که از مقاومت 100 اهمی عبور کرد از مقاومت یک کیلو اهمی نیز عبور می نماید و این عمل ، توسط ترانزیستور انجام می شود . لذا می توان گفت که ترانزیستور در یک جریان ثابت عمل انتقال مقاومت را انجام می دهد . نام ترانزیستور نیز از همین عمل ترانزیستور یعنی انتقال مقاومت گرفته شده است یعنی کلمه Transistor از عبارت Transfer of resistor به معنای انتقال مقاومت گرفته شده است .

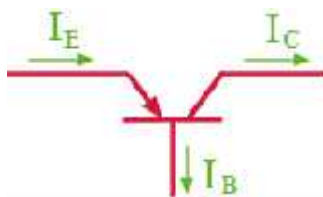
جهت جریان در ترانزیستور : جریانی را که از کلکتور عبور می کند با I_C و جریانی را که از بیس عبور می کند با I_B و جریانی را که از امیتر عبور می کند با I_E نمایش می دهند . همانطور که قبلاً گفته شد جریانی که از امیتر عبور می کند به دو انشعاب تقسیم می شود . قسمت بسیار کمی از جریان امیتر از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می کند و لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه جریان کلکتور یعنی داریم:

$$I_E = I_B + I_C$$

برای سادگی و درک جهت جریان ، معمولاً جهت قراردادی جریان را در نظر می گیرند . در جهت قراردادی ، جریان از قطب مثبت منبع تغذیه خارج شده و پس از عبور از مدار خارجی به قطب منفی آن وارد می شود . در شکل (10) جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN و در شکل (11) جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP نمایش داده شده است.



شکل 10



شکل 11

نامگذاری ولتاژ ترانزیستور : قبلاً گفتیم که برای استفاده از ترانزیستور باید اول بایاسینگ ترانزیستور را تأمین کنیم . ولتاژهایی که به این منظور به قسمت های مختلف ترانزیستور اعمال می شود با هم فرق می کنند . این ولتاژها به این ترتیب نامگذاری می شوند که ولتاژی که بین پایه های بیس و امیتر قرار دارد با V_{BE} ، ولتاژی که بین پایه های کلکتور و بیس قرار دارد با V_{CB} ، ولتاژی که بین پایه های کلکتور و امیتر قرار دارد با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می کند با V_{BB} نشان می دهند . بین ولتاژهای پایه های ترانزیستور رابطه زیر برقرار است.

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

تأثیر درجه حرارت بر ترانزیستور : افزایش درجه حرارت بیشتر بر روی جریان معکوس پیوند بیس - کلکتور نسبت به جریان های دیگر اثر می گذارد . با توجه به اینکه پیوند بیس - کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد جریان بسیار ضعیفی که عامل آن حامل های اقلیت هستند از کلکتور به طرف بیس جاری می شود و افزایش درجه حرارت باعث می شود که تعداد بیشتری از پیوندها شکسته شده و الکترون های بیشتری آزاد گردند و در نتیجه جریان معکوس پیوند بیس - کلکتور افزایش می یابد . این جریان را جریان قطع کلکتور نامیده و آن را با I_{CO} یا I_{CBO} نمایش می دهند .

مقادیر حد در ترانزیستورها : هر المان نیمه هادی ، از جمله ترانزیستور ، برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می شود . مثلاً هر ترانزیستوری را برای تحمل توان مشخصی می سازند . اگر مقادیر الکتریکی اعمال شده به ترانزیستور بیشتر از آنچه کارخانه سازنده مشخص کرده است باشد ، ترانزیستور معیوب می شود . این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروفند . کارخانجات سازنده ، حداکثر مقدار مجاز مقادیر الکتریکی را مشخص می کنند . مهمترین این مقادیر عبارتند از :

- 1- حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر : این پارامتر ، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه های کلکتور و امیتر را مشخص می کند و آن را با V_{CEmax} نمایش می دهند .
- 2- حداکثر جریان کلکتور : حداکثر جریانی است که ترانزیستور می تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه سازنده ، تحمل کند و آن را با I_{Cmax} نمایش می دهند .
- 3- حداکثر توان : حداکثر توانی است که می تواند در یک ترانزیستور به صورت حرارت تلف شود و آن را با P_{max} نمایش می دهند .
- 4- حداکثر درجه حرارت محل پیوند : حداکثر درجه حرارتی است که در محل اتصال کلکتور - بیس ، ترانزیستور می تواند تحمل کند و آن را با T_j نمایش می دهند .

نامگذاری ترانزیستورها : برای نامگذاری ترانزیستورها ، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد اگر چه تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نامگذاری خاصی استفاده می کنند . این سه روش عبارتند از : 1- روش ژاپنی - 2 روش اروپایی - 3 روش آمریکایی

روش ژاپنی : در این سیستم ، نامگذاری ترانزیستور را با عدد 2 شروع کرده و به دنبال آن حرف S را می آورند . بعد از حرف و عدد 2 ، S یکی از حروف C ، B ، A و D را قرار می دهند که هر یک مفاهیمی به شرح زیر دارند :

حرف : A این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع PNP بوده و در فرکانس های بالا نیز می تواند کار کند .

حرف : B این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع PNP بوده و در فرکانس های کم می تواند کار کند .

حرف : C این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع NPN بوده و در فرکانس های بالا نیز می تواند کار کند .

حرف : D این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع NPN بوده و در فرکانس های کم می تواند کار کند .

بعد از این حروف تعداد 2 یا 3 یا 4 رقم قرار می گیرد که با مراجعه به جدول مشخصات ترانزیستورها ، می توان مقادیر مشخصه های الکتریکی آن را بدست آورد . در این سیستم ، حروف روی ترانزیستور ، مشخص کننده جنس نیمه هادی به کار رفته (ژرمانیوم یا سیلیسیم) و همچنین حدود قدرت آن نمی باشد . مثلاً المان SC829 نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالا می باشد . لازم به تذکر است که بر روی اکثر ترانزیستورها ، حرف 2 S را قید نمی نمایند . مثلاً C829 همان SC829 می باشد .

روش اروپایی : در نامگذاری به روش اروپایی ، تا سال 1960 ، ترانزیستور را با حروف OC و OD و با دو ، سه یا چهار عدد به دنبال آنها مشخص می کردند که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می رفت مانند OC72 . در این روش نامگذاری ، نوع ترانزیستور و جنس نیمه هادی به کار رفته در آن و نیز محدوده فرکانسی آن مشخص نبود . از سال 1960 به بعد ، سیستم نامگذاری ترانزیستورها تغییر کرد . بدین نحو که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکتریکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره و ترانزیستورهای خاص با سه حرف و دو شماره مشخص می شوند مانند ترانزیستور BUX38 که این ترانزیستور در فرکانس های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می شود . در ادامه روش نامگذاری با دو حرف و سه شماره که کاربرد بیشتری دارد بیان خواهد شد .

روش نامگذاری با دو حرف و سه شماره : در این روش حرف اول نشان دهنده جنس نیمه هادی است که اگر ژرمانیوم باشد با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می شود . برای حرف دوم نیز از حروف S ، L ، F ، D ، C و یا U استفاده می نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است :

C : ترانزیستور کم قدرت با فرکانس کار کم .

D : ترانزیستور قدرت با فرکانس کار کم .

F : ترانزیستور کم قدرت با فرکانس کار زیاد .

L : ترانزیستور قدرت با فرکانس کار زیاد .

S : ترانزیستور کم قدرت که به عنوان سوئیچ به کار می رود .

U : ترانزیستور قدرت که به عنوان سوئیچ به کار می رود .

سه شماره بعد ، نشان دهنده سری ترانزیستور می باشد که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات ، می توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را بدست آورد . به عنوان مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC107 عبارت است از :

B :جنس ترانزیستور از سیلیسیم می باشد .

C:ترانزیستور کم قدرت بوده و در فرکانس کم می تواند کار کند .

مشخصات الکتریکی را با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوطه به دست می آورند .

در این سیستم نامگذاری ، نوع ترانزیستور یعنی NPN و یا PNP بودن آن ، از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست .

روش آمریکایی : در این روش نامگذاری ، ترانزیستور را با حرف و عدد N 2 مشخص می کنند و تعدادی رقم به عنوان شماره سری به دنبال آن می آورند که با توجه به این ارقام و با استفاده از جدول مشخصات ترانزیستورها ، مشخصات الکتریکی ترانزیستور را بدست می آورند . به عنوان مثال ترانزیستور N3052 ، یک ترانزیستور قدرت است که در فرکانس های کم کار می کند.