

# CHAPTER 5

## Aula 19:

**Transistores Bipolares de Junção (TBJs), Estruturas, Símbolos, Modos de Operação e o Princípio de Operação do TBJ no modo Ativo (p.235-238)**

10  
10

## PSI 2223 – Introdução à Eletrônica Programação para a Terceira Prova

|  |  |  |
|--|--|--|
| 19ª<br>17/05   | Estruturas e símbolos dos transistores bipolares de junção, definição dos modos de operação (corte, ativo, saturação) do TBJ, operação do transistor npn no modo ativo (polarização e distribuição de portadores minoritários).                                  | Sedra, Cap. 5<br>p. 235-238                  |
| 20ª<br>20/05   | Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - $\beta$ - e do ganho de corrente em base comum - $\alpha$ ), modelos de circuitos equivalentes para grandes sinais do transistor npn operando no modo ativo, exercícios. | Sedra, Cap. 5<br>p. 239-243.                 |
| 21ª<br>31/05   | Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.   | Sedra, Cap. 5<br>p. 246 + 264-269            |
| 22ª<br>03/06   | O TBJ como amplificador para pequenos sinais (as condições c.c., a corrente de coletor e a transcondutância)   | Sedra, Cap. 5,<br>p. 263-264;<br>p. 275-276. |
| 23ª<br>07/06   | A corrente de base e a resistência de entrada da base, a resistência de entrada do emissor. Ganho de tensão, Exemplo 5.38, modelos equivalentes (modelos $\pi$ -híbrido e T)   | Sedra, Cap. 5,<br>p. 276-279                 |
| 24ª<br>14/06   | Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43  | Sedra, Cap. 5<br>p. 290-293                  |
| 25ª<br>17/06   | Aula de Exercícios   |  |
| 3ª. Semana de Provas (20/06 a 24/06/2016)<br>Data: 22/06/2016 (quarta feira) – Horário: 13:10h às 15:10h |  |  |

11

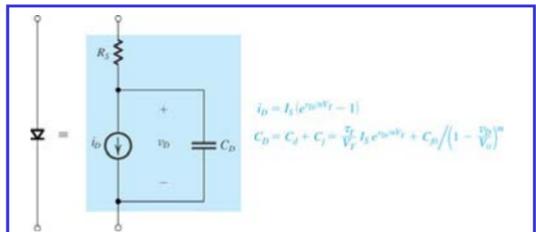
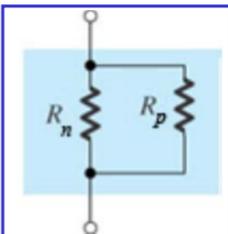
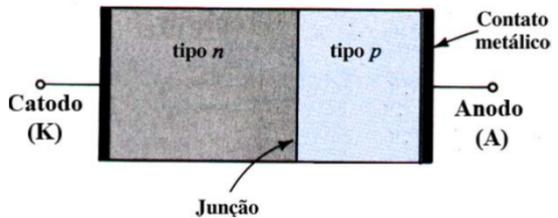
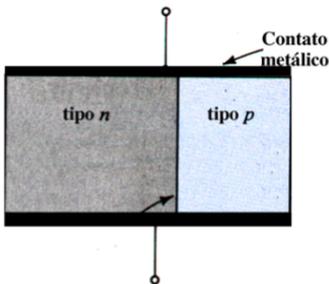
# 19ª Aula: O Transistor Bipolar de Junção

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Contar um pouco da história do transistor bipolar de junção (TBJ)
- Mostrar o fluxo de portadores no TBJ a partir do seu conhecimento de junções pn
- Determinar as expressões para as correntes no TBJ
- Criar um modelo para o TBJ

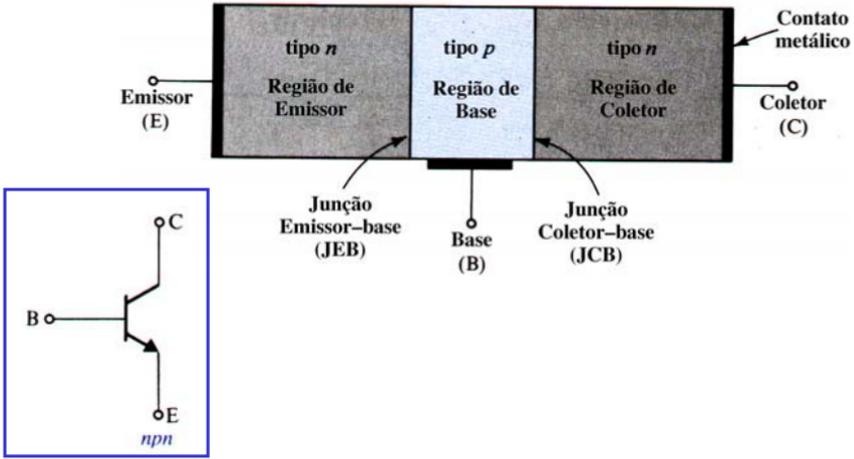
12

## Até agora vimos que



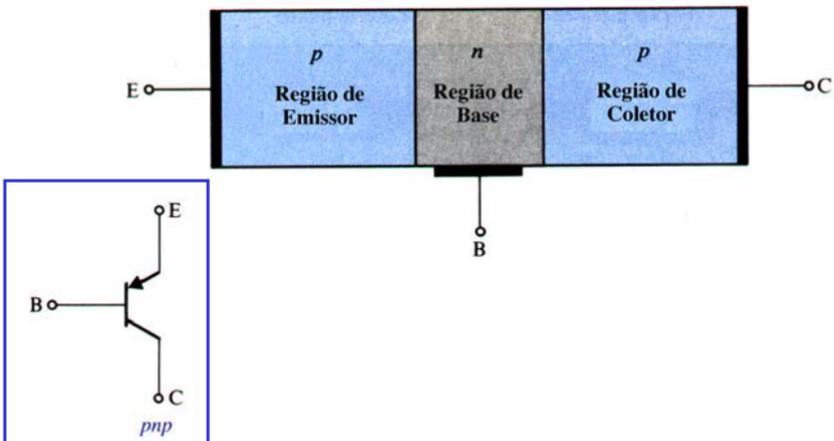
13

# O Transistor Bipolar de Junção (npn)



14

# O Transistor Bipolar de Junção (pnp)

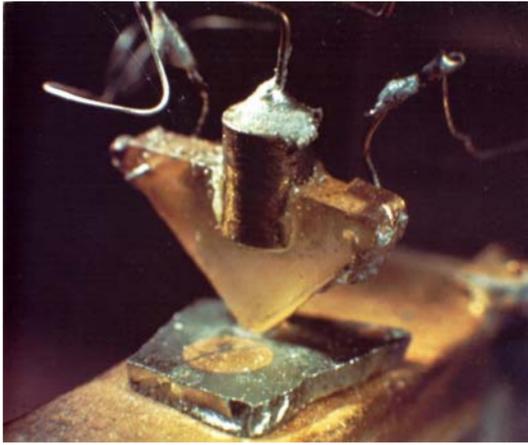


15

# O Nascimento da Eletrônica Moderna

## O Primeiro Transistor Bipolar de Contato (1947)

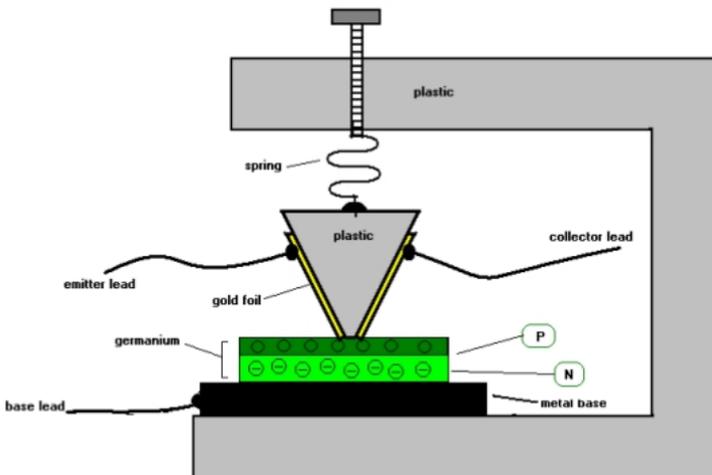
(Brattain, Bardeen e Shockley)



16

# O Transistor Bipolar de Contato

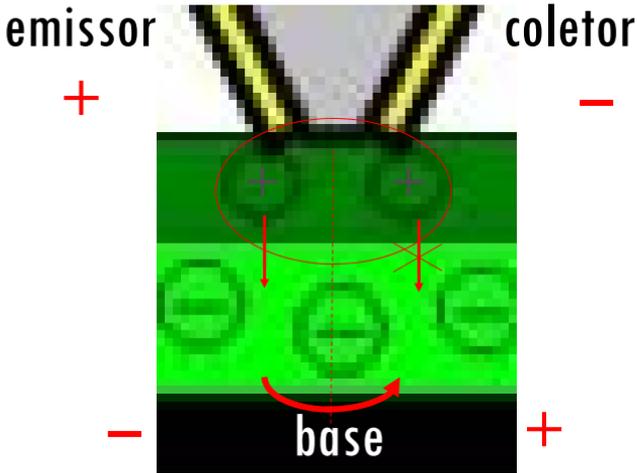
(Brattain, Bardeen e Shockley)



17

# O Transistor Bipolar de Contato

(Brattain, Bardeen e Shockley)



18

# O Transistor Bipolar de Contato

(Brattain, Bardeen e Shockley)

DATE Dec 24 1947  
CASE No. 38139-7

We obtained the following A.C. values at 1000 cycles

$E_g = .010$  V. M.S.  $E_p = 1.5$  R.M.S. mts

$P_g = \frac{e e c o t}{5.4 \times 10^{-7}}$  watts  $P_a = 2.25 \times 10^{-5}$

Voltage gain 100 Power gain 40  
Current  $\frac{1}{2.5}$

This unit was then connected in the following circuit

This circuit was actually spoken over and by switching from the audio in and out a distinct gain in speech level could be heard and seen on the scope presentation with no noticeable change in power quality. By measurements at a fixed frequency

DATE Dec 24 1947  
CASE No. 38139-7

in it was determined that the power gain was the order of magnitude of 18 or greater. Various points (were) pointed out of whom same were the following R.B. Gibney, H.R. Moore, J. Bardeen, G.H. Pearson, W. Shockley, H. Fletcher, R. Brown. Mr. H.R. Moore assisted in setting up the circuit and the demonstration occurred in the afternoon of Dec 23 1947

Red. used by  
S. L. Brown  
R. B. Moore

19

## O Primeiro Transistor de Contato

O Primeiro transistor foi inventado no Bell Labs em 23 de dezembro de 1947, por Brattain, Bardeen e Shockley.

Apesar disso, o trabalho na U. Purdue era muito consistente em propriedades do germânio e era mais interessante.

Seymour Benzer e Ralph Ray eram estudantes de pós-graduação em 1944 sob orientação de Lark-Horovitz na U. Purdue. Benzer estudava a alta resistência de contatos metal-germânio na direção reversa e Bray na direção direta. Os resultados não podiam ser explicados pelas teorias até então conhecidas que diziam que a corrente deveria ser muito menor.

O que eles não sabiam, é que a injeção de portadores minoritários era a responsável. Bray e Benzer mostravam seus resultados a cientistas famosos que os visitavam e que coçavam a cabeça...

20

## O Primeiro Transistor de Contato

Bray e Benzer apresentaram suas observações sobre contatos pontuais sobre germânio em uma conferência em 1948, semanas após a invenção do transistor na Bell, que ainda era mantido em segredo.

Brattain estava na audiência, sabendo muito bem que o fenômeno era causado por portadores minoritários, e percebeu quão próximos estavam Bray e Benzer da descoberta do transistor. Como Bray disse depois, “estava claro que se eu tivesse aproximado meu fio do fio de Benzer teríamos descoberto o transistor...”

21

## O Primeiro Transistor de Contato

Ele na verdade chegou a consultar Brattain que estava preocupado que outro grupo anunciasse antes a descoberta do transistor:

“Eu os deixei simplesmente falando, sem dizer nada”

Ao final, ele lembra que Bray disse: “Sabe, se nós puséssemos um outro ponto na superfície do germânio e medíssemos o potencial entre eles, talvez...”

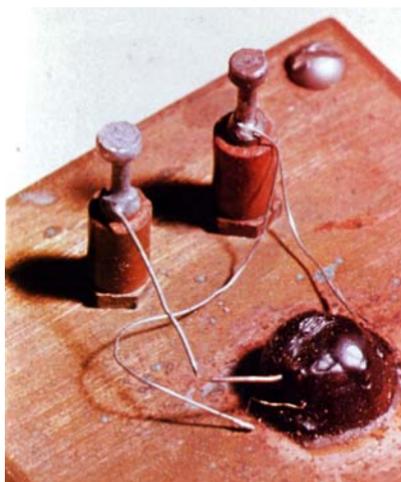
Brattain, não resistindo disse “É, pode ser um ótimo experimento” e afastou-se pensando com seus botões “Ralph acaba de descrever o experimento que nos levou à invenção do transistor algumas semanas atrás !!!!”

*ir*: Ernest Braun e Stuart Macdonald “Revolution in Miniature: The history and impact of semiconductor electronics”

22

## O Primeiro Transistor de Junção

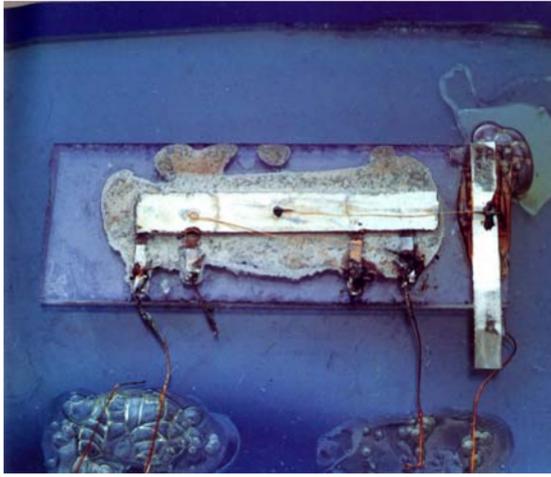
1950 (Bell Labs)



23

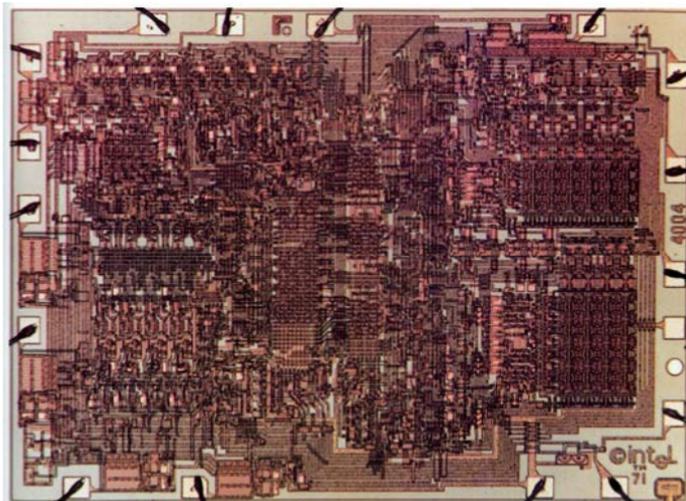
# A Revolução em Miniatura Começa O Primeiro CI

Jack Kilby, Texas Instruments (1958)



24

# O Primeiro Processador Intel 4004 (1971) — A Guerra das Calculadoras

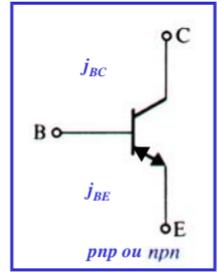


25

# Modos de Operação

Tabela 4.1 MODOS DE OPERAÇÃO DO TBJ.

| Modo          | JEB     | JBC     |
|---------------|---------|---------|
| Corte         | Reversa | Reversa |
| Ativo         | Direta  | Reversa |
| Saturação     | Direta  | Direta  |
| Ativo Reverso | Reversa | Direta  |

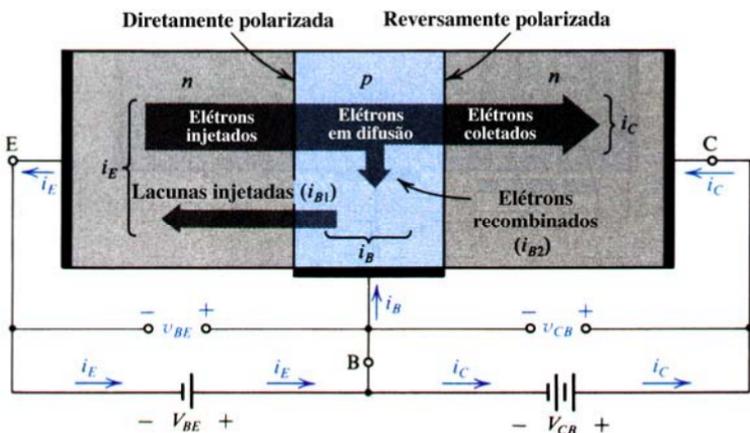


**INDEPENDE SE NPN OU PNP!!!**

26

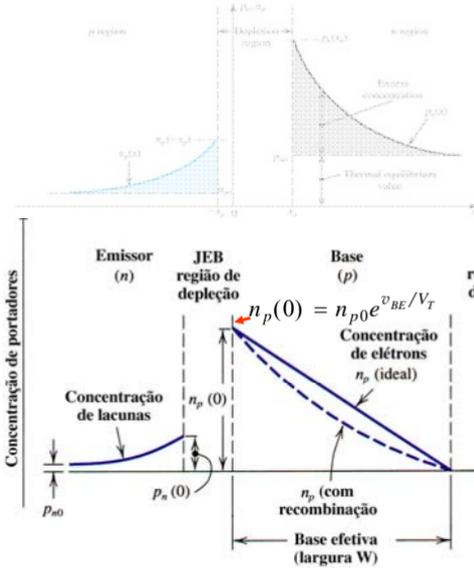
## O Transistor Bipolar

$j_{BE}$  dir. pol. e  $j_{BC}$  rev. pol. (modo ativo)



27

# A distribuição de portadores minoritários

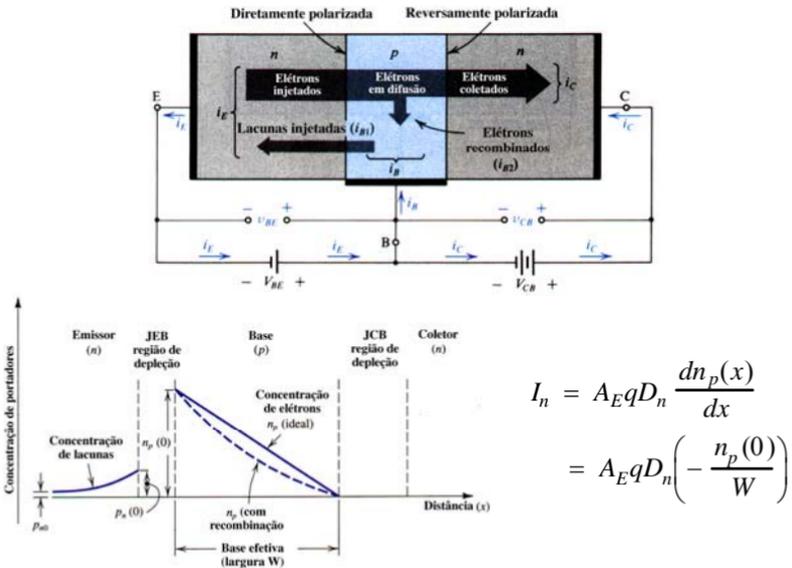


$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx}$$

$$= A_E q D_n \left( -\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

28

# A corrente no coletor



29

# A corrente no coletor

$$n_p(0) = n_{p0} e^{v_{BE}/V_T} \quad I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx}$$

$$= A_E q D_n \left( -\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx} = A_E q D_n \left( -\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

$$= A_E q D_n \left( -\frac{n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}}{W} \right)$$

$$I_C = -I_n = A_E q D_n \left( \frac{n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}}{W} \right)$$

$$= \frac{A_E q D_n n_{p0}}{W} e^{v_{BE}/V_T} = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$= I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{sendo } I_S \text{ a corrente de saturação}$$

lembrem, no diodo

$$I_S = A q n_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right)$$