به نام خدا

# فیزیک الکترونیک
# مشخصه جریان_ولتاژ پیوندهای pn

ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری

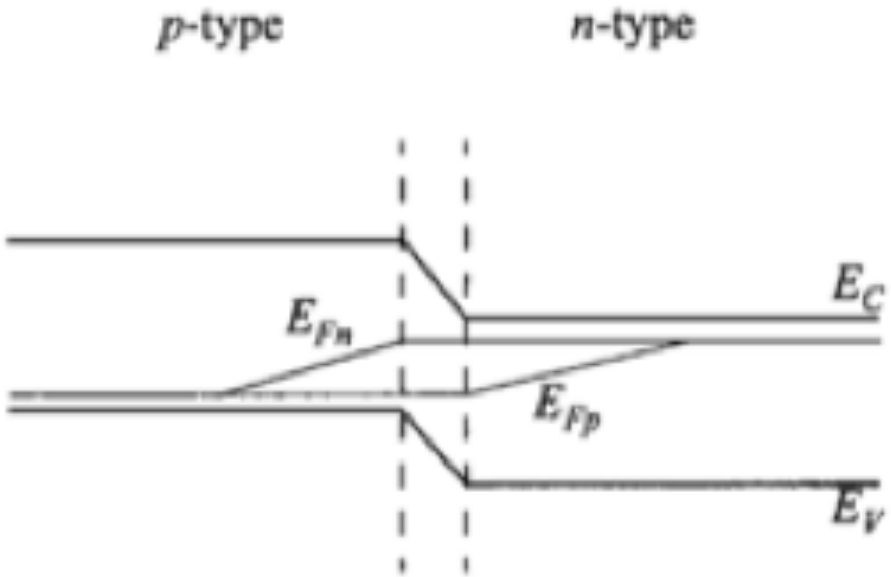
# شرایط پیوند pn ایده آل

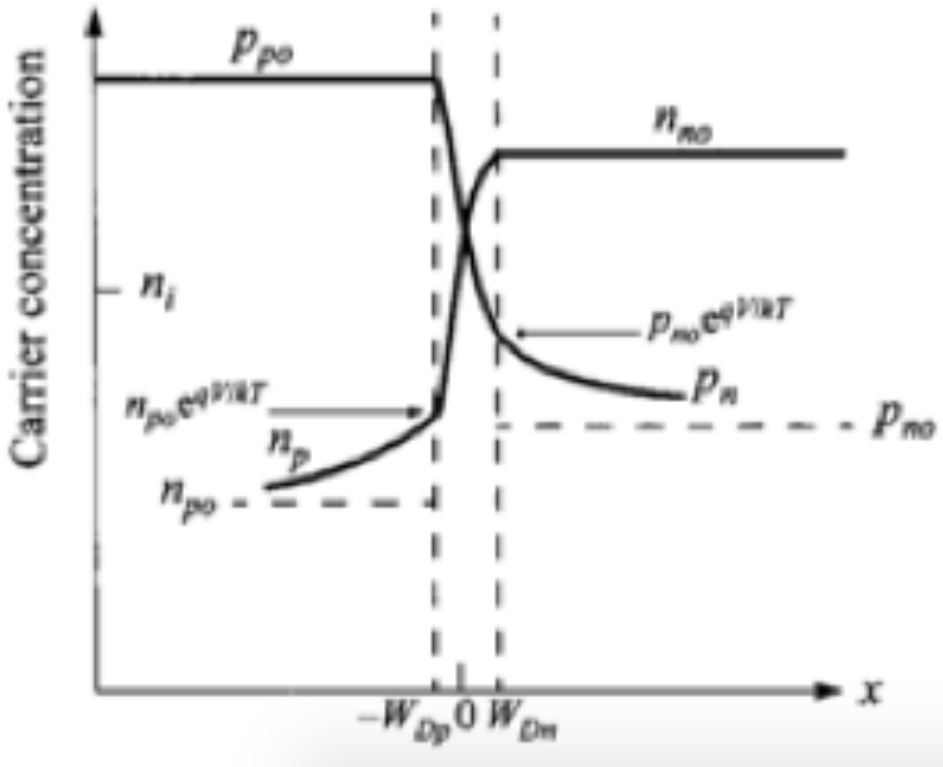
- نیمه هادی بالک سازگار با مدل جرم موثر مورد استفاده قرار گرفته است.
- نیمه هادی تبهگن نمی باشد.
- رژیم تزریق کم برقرار است.
- در ناحیه تخلیه تولید و بازترکیبی وجود ندارد.

**توجه:**

- شکل ها برای بایاس مستقیم رسم خواهد شد اما روابط کاملا کلی خواهند بود.
- تنها در بایاس معکوس مقدار ولتاژ اعمالی منفی است.

# دیاگرام باند و چگالی حامل ها




$$J_n = \mu_n n \frac{dE_{fn}}{dx} \quad , \qquad J_p = \mu_p p \frac{dE_{fp}}{dx}$$

$$n = n_i e^{\frac{E_{fn}-E_i}{k_B T}} \quad , \qquad p = n_i e^{\frac{E_i-E_{fp}}{k_B T}}$$

$$np = n_i^2 e^{\frac{E_{fn}-E_{fp}}{k_B T}} \Longrightarrow n(W_{Dn})p(W_{Dn}) = n_i^2 e^{\frac{qV}{k_B T}}$$

$$n(W_{Dn})p(W_{Dn}) \cong N_D p(W_{Dn}) \cong n_i^2 e^{\frac{qV}{k_B T}}$$

$$p(W_{Dn}) \cong p_{n0} e^{\frac{qV}{k_B T}}$$

تمرین: چگالی در دیگر نقطه مرزی ناحیه تخلیه

# چگالی حامل ها در نواحی خنثی

$$x > W_{Dn}: \frac{\partial p_n}{\partial t} = G_p - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p} - \frac{1}{q}\frac{\partial J_p}{\partial x} = -\frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p} + D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} = 0$$

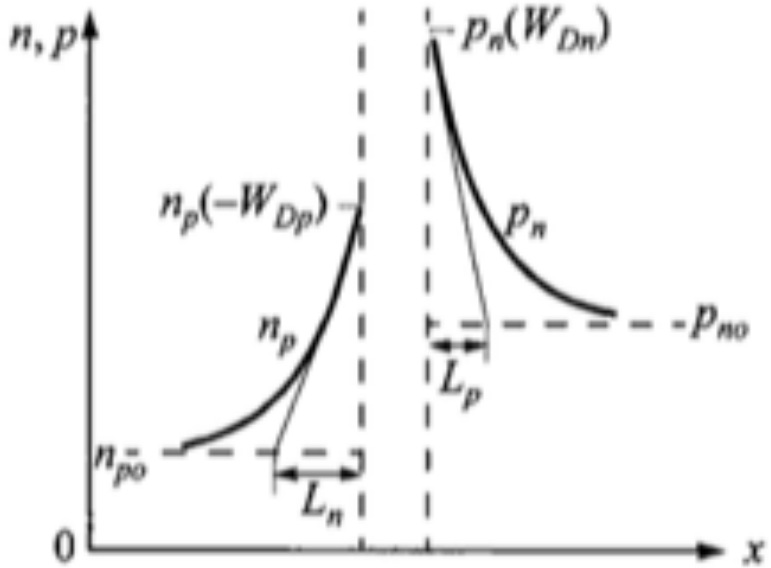
$$p_n(W_{Dn}) = p_{n0} e^{\frac{qV}{k_B T}} \quad , \qquad p_n(x \longrightarrow \infty) = p_{n0}$$

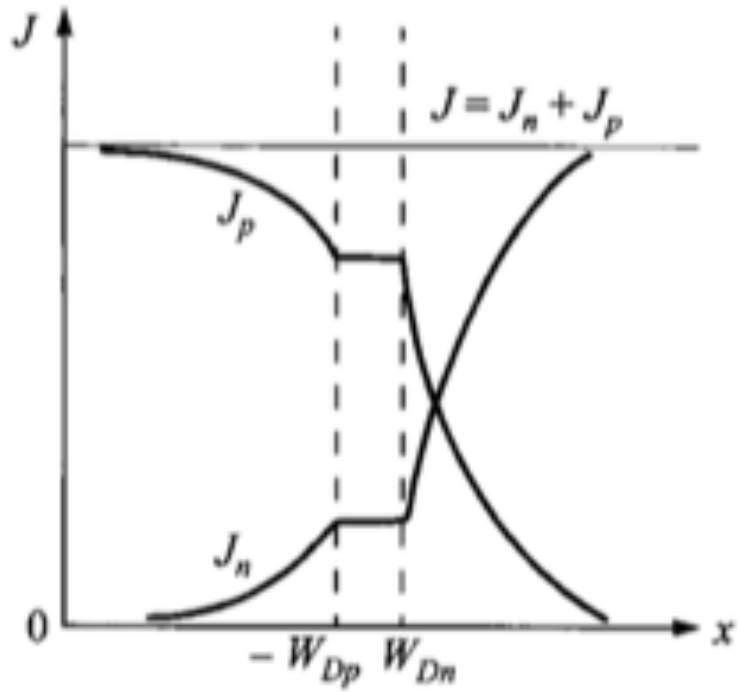
$$p_n(x > W_{Dn}) = p_{n0} + p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1\right) e^{-\frac{x - W_{Dn}}{L_p}} \quad , \qquad L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

$$n_p(x < -W_{Dp}) = n_{p0} + n_{p0}\left(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1\right) e^{\frac{x + W_{Dp}}{L_n}} \quad , \qquad L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$$

تمرین: چگالی حامل های اکثریت در نواحی خنثی

# چگالی جریان




$$J_p(W_{Dn}) = -qD_p \frac{dp_n}{dx}\Big|_{W_{Dn}} = \frac{qD_p p_{n0}}{L_p}(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1)$$

$$J_n(-W_{Dp}) = qD_n \frac{dn_p}{dx}\Big|_{-W_{Dp}} = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n}(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1)$$

- در ناحیه تخلیه تولید و بازترکیبی وجود ندارد. بنابراین چگالی جریان در این ناحیه ثابت است

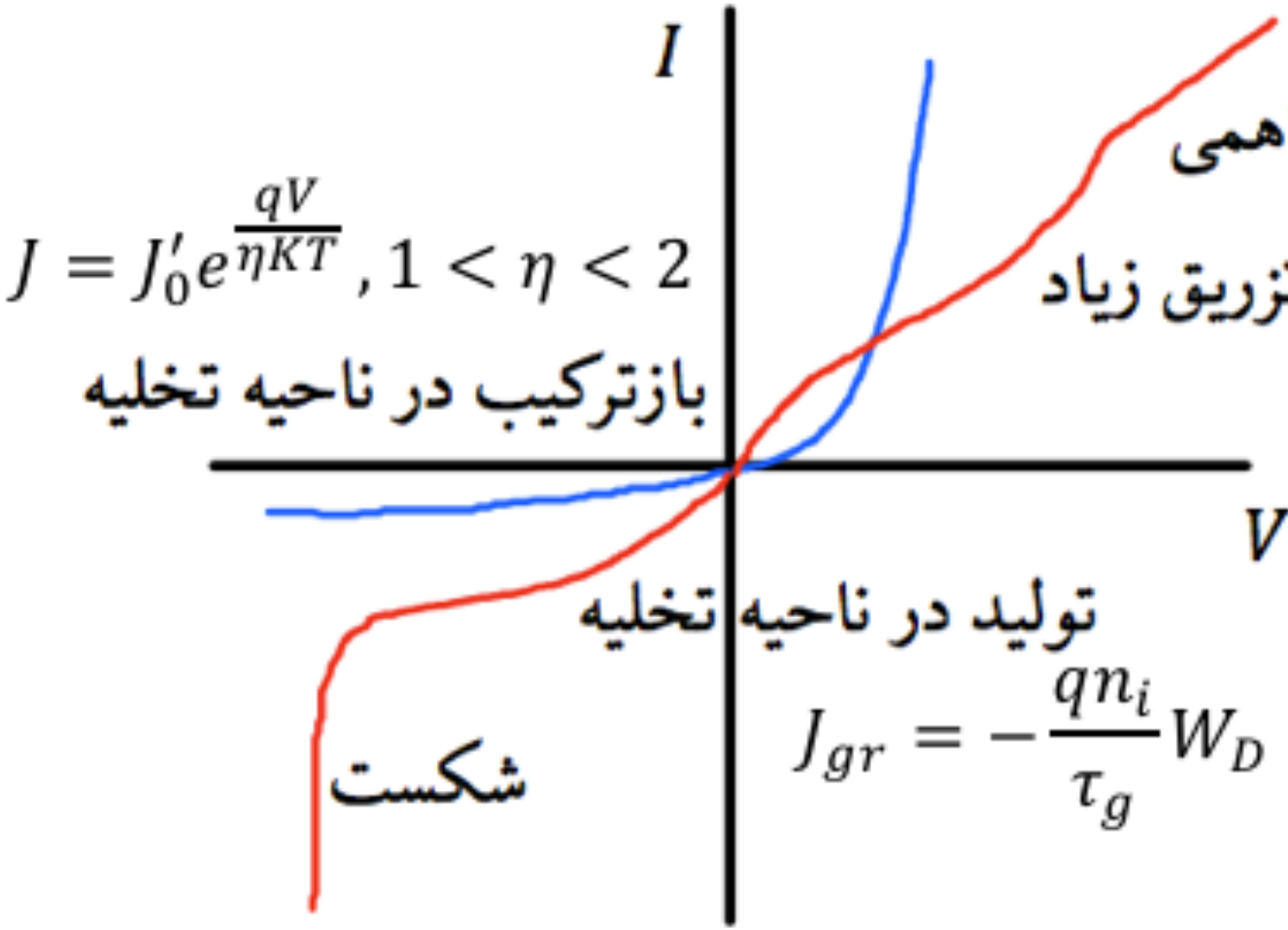
$$J = J_n(-W_{Dp}) + J_p(W_{Dn}) = J_0(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1)$$

$$J_0 = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p}$$

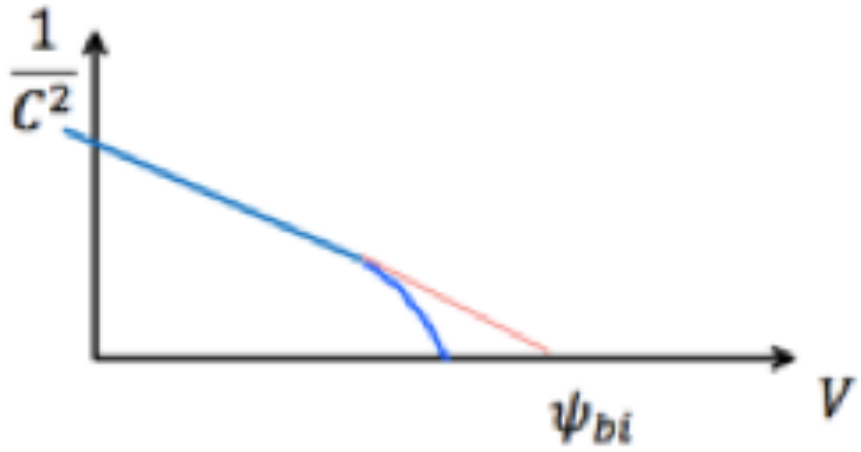
# تمرین

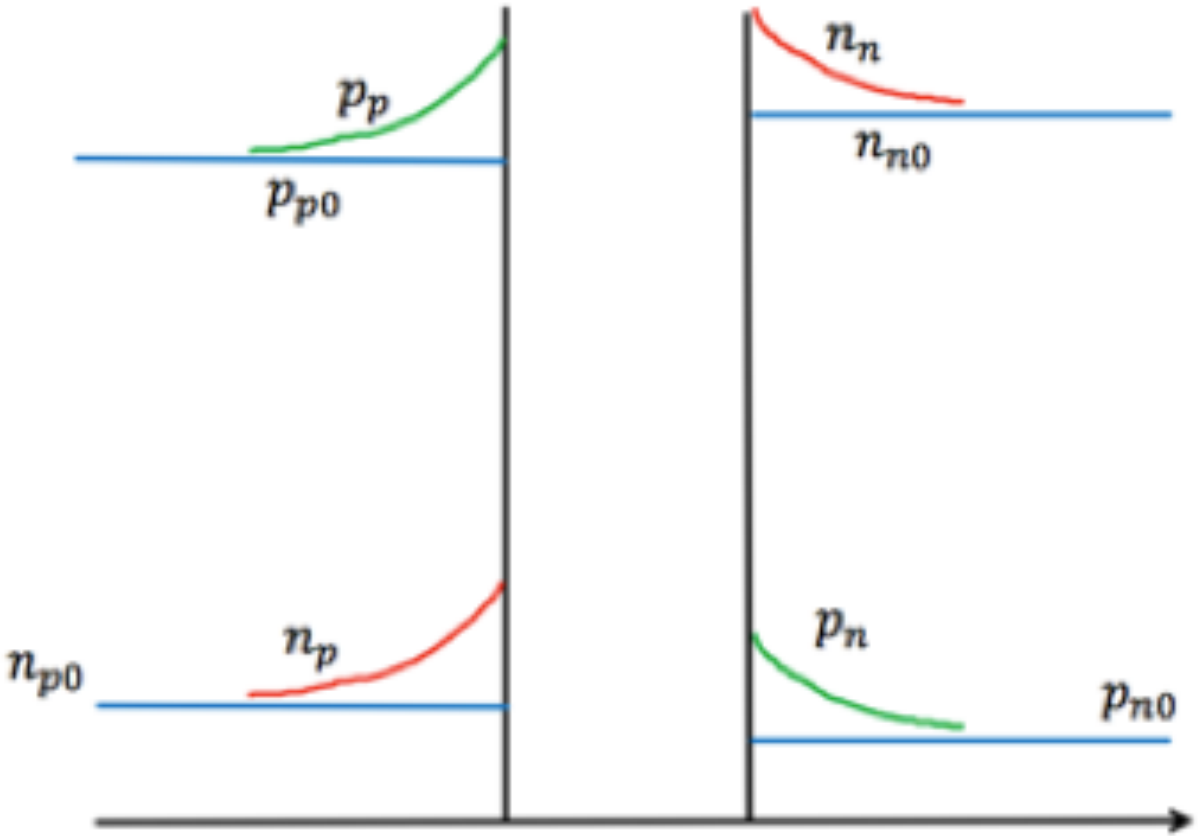
- به دست آوردن رابطه چگالی جریان حامل های اقلیت در نواحی خنثی
- به دست آوردن رابطه چگالی جریان حامل های اکثریت در نواحی خنثی
- به دست آوردن رابطه چگالی جریان نفوذ حامل های اکثریت در نواحی خنثی
- به دست آوردن رابطه چگالی جریان رانشی حامل های اکثریت در نواحی خنثی
- به دست آوردن رابطه چگالی جریان رانش حامل های اقلیت در نواحی خنثی با تقریب بهتر

# اثرات ثانویه



# خازن نفوذ




$$p_n(x > W_{Dn}) = p_{n0} + p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1\right)e^{-\frac{x - W_{Dn}}{L_p}}$$

$$n_p(x < -W_{Dp}) = n_{p0} + n_{p0}\left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1\right)e^{\frac{x + W_{Dp}}{L_n}}$$

$$n_n(x > W_{Dn}) = n_{n0} + p_{n0}\left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1\right)e^{-\frac{x - W_{Dn}}{L_p}}$$

$$p_p(x < -W_{Dp}) = p_{p0} + n_{p0}\left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1\right)e^{\frac{x + W_{Dp}}{L_n}}$$

# رابطه خازن نفوذ

- میزان بار (حفره ها) بر واحد سطح در نواحی خنثی:

$$\mathrm{Q_d} = \int_{-\infty}^{-W_{Dp}} q\, p_p dx + \int_{W_{Dn}}^{\infty} q\, p_n dx$$

- خازن نفوذ بر واحد سطح:

$$C_d = \frac{dQ_d}{dV} = \frac{q^2}{2KT}\left(L_p p_{n0} + L_n n_{p0}\right) e^{\frac{qV}{KT}}$$

- خازن کل بر واحد سطح:

$$\mathrm{C} = \mathrm{C_D} + \mathrm{C_d} = \frac{\varepsilon_s}{\mathrm{W_D}} + \frac{q^2}{2KT}\left(L_p p_{n0} + L_n n_{p0}\right) e^{\frac{qV}{KT}}$$