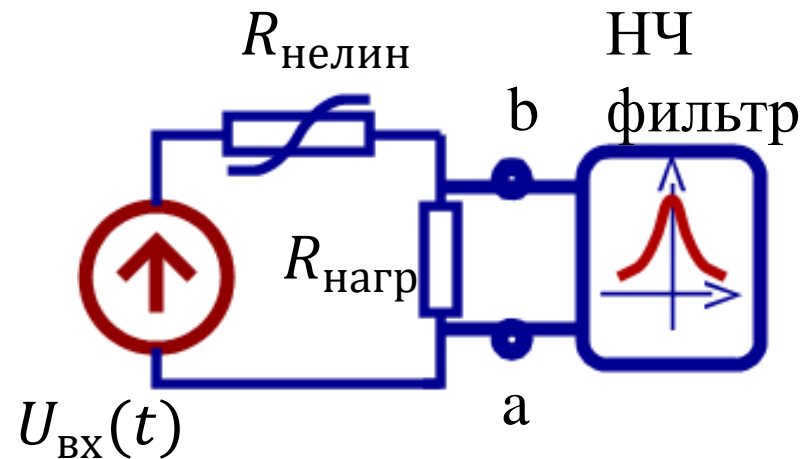




Детектирование АМ сигнала



Фильтр должен выделять частоты вблизи нуля $\omega \leq \Omega$.

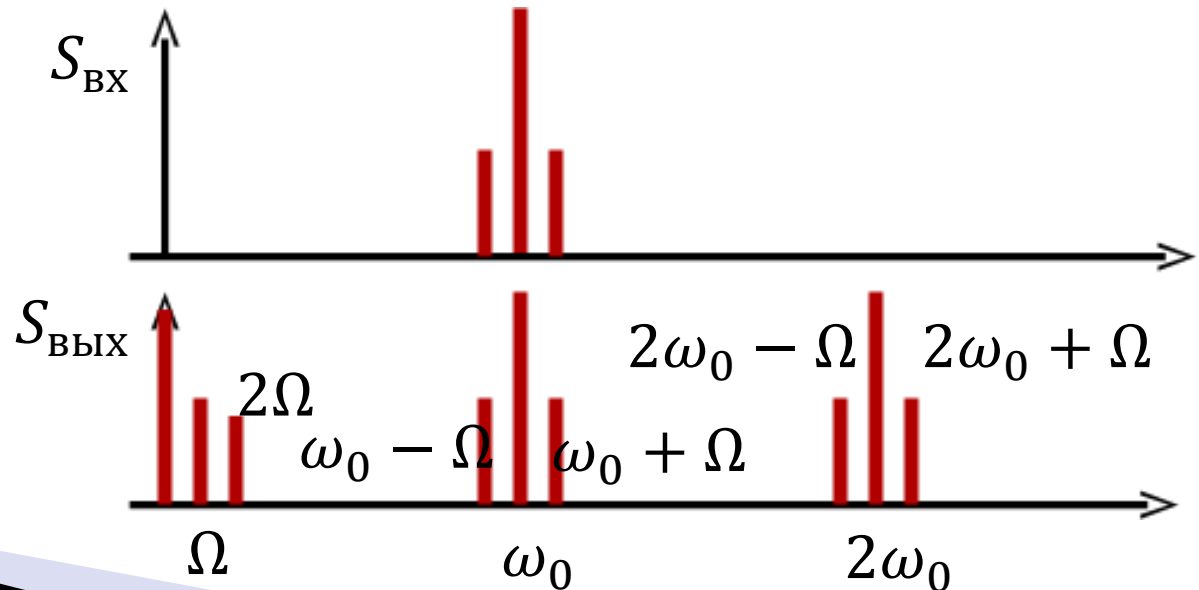
$$\begin{aligned} U_{\text{ВХ}}(t) &= U_0(1 + m\sin\Omega t) \sin\omega_0 t = \\ &= U_0 \left(\sin\omega_0 t + \frac{m}{2} [\cos(\omega_0 - \Omega)t - \cos(\omega_0 + \Omega)t] \right). \\ I &\cong S_1 U + S_2 U^2, \quad R_{\text{нагр}} \ll R_{\text{нелин}} \end{aligned}$$



$$I \cong S_1 U + S_2 U^2 + \dots, \quad R_{\text{нагр}} \ll R_{\text{нелин}},$$

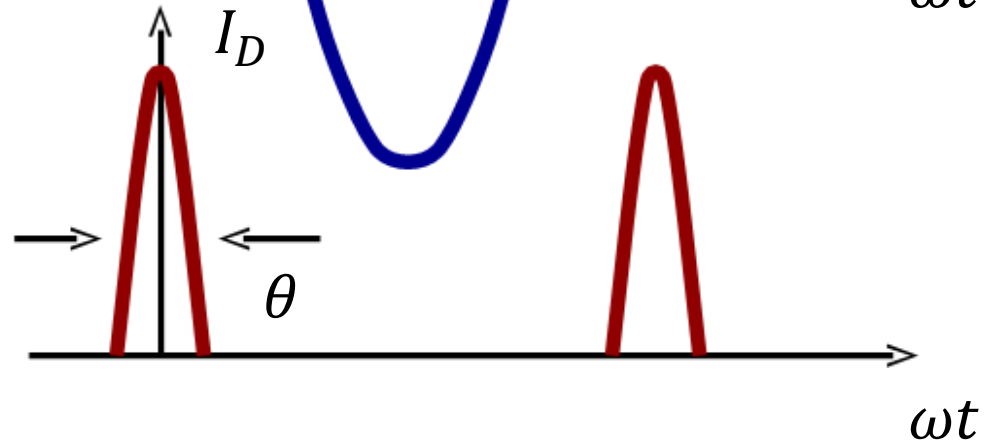
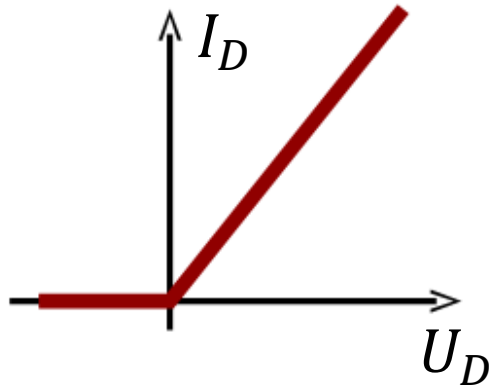
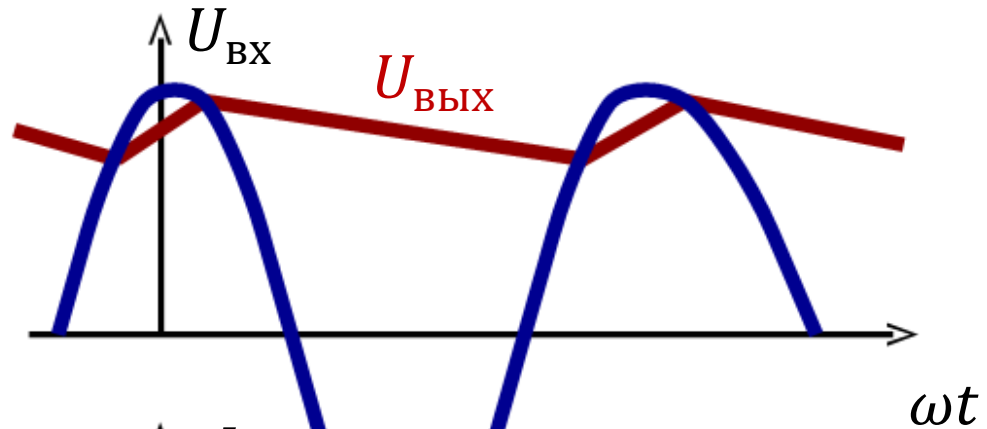
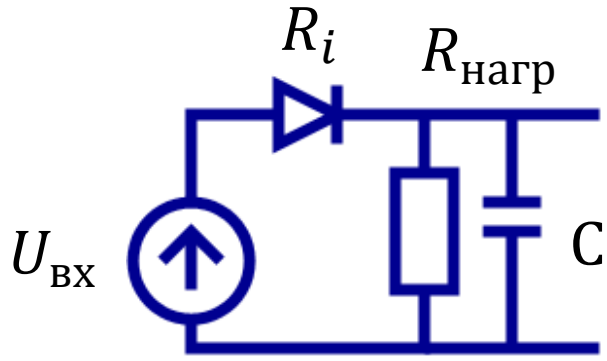
$$\begin{aligned} U_{ab}(t) &\cong R_{\text{нагр}} I = R_{\text{нагр}} (S_1 U(t) + S_2 U(t)^2 + \dots) = \\ &= R_{\text{нагр}} S_1 U_0 (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t + \\ &+ R_{\text{нагр}} S_2 U_0^2 \underbrace{(1 + m \sin \Omega t)^2 \sin^2 \omega_0 t + \dots}_{\frac{1}{2} \times 2m \sin \Omega t + \dots} = \\ &= S_1 \dots + S_2 R_{\text{нагр}} S_2 U_0^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} 2m \sin \Omega t + \dots \right) \end{aligned}$$

После фильтра: $U_{\text{после фильтра}}(t) \cong S_2 U_0^2 \times m \sin \Omega t$



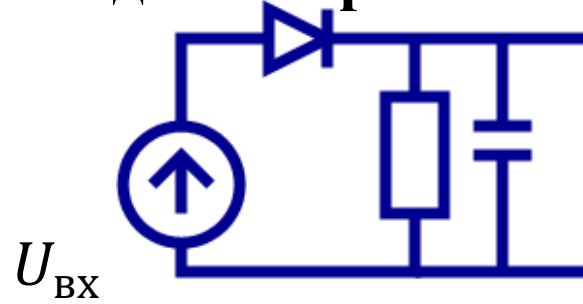


Однополупериодный выпрямитель



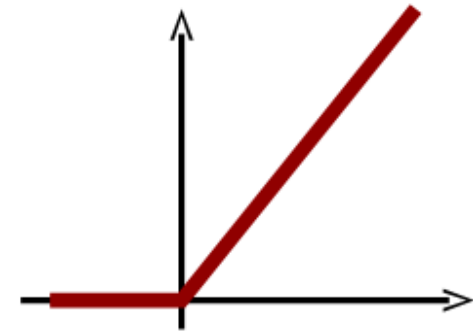
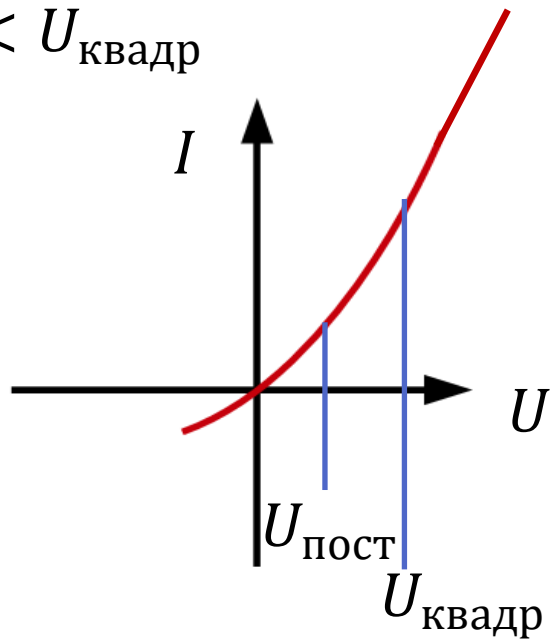
$$\tan\theta - \theta = \frac{\pi R_i}{R_{\text{нагр}}}, \quad R_i \ll R_{\text{нагр}} \Rightarrow \theta \cong \sqrt[3]{\frac{3\pi R_i}{R_{\text{нагр}}}}$$

Два режима детектирования АМ сигналов



$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{пост}} + U_0(1 + m\sin\Omega t) \sin\omega_0 t$$
$$U_{\text{ВХ}} < U_{\text{квдр}}$$

$$U_{\text{ВХ}} = U_0(1 + m\sin\Omega t) \sin\omega_0 t$$
$$U_{\text{ВХ}} \gg U_{\text{квдр}}$$



«Линейное» детектирование

Квадратичное детектирование



«Линейное» амплитудное детектирование

Информация - $m \sin \Omega t$

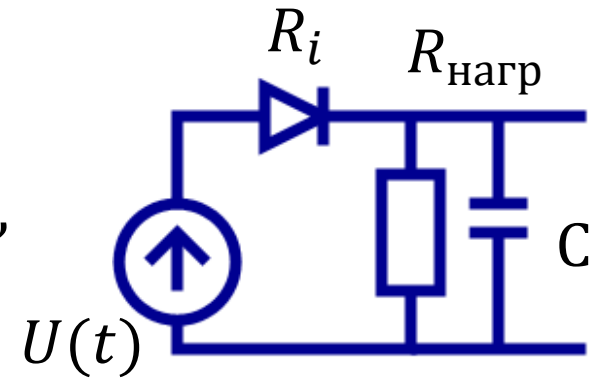
$$U(t) = U_0(1 + m \sin \Omega t) \sin \omega t,$$

Условия детектирования:

$\omega R_{\text{нагр}} C \gg 1$ - отфильтровать несущую частоту.

$\Omega R_{\text{нагр}} C \ll 1$ - выделить огибающую.

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) \sim U_0 m \sin \Omega t + \text{члены с частотами } 2\Omega, 3\Omega, \dots$$



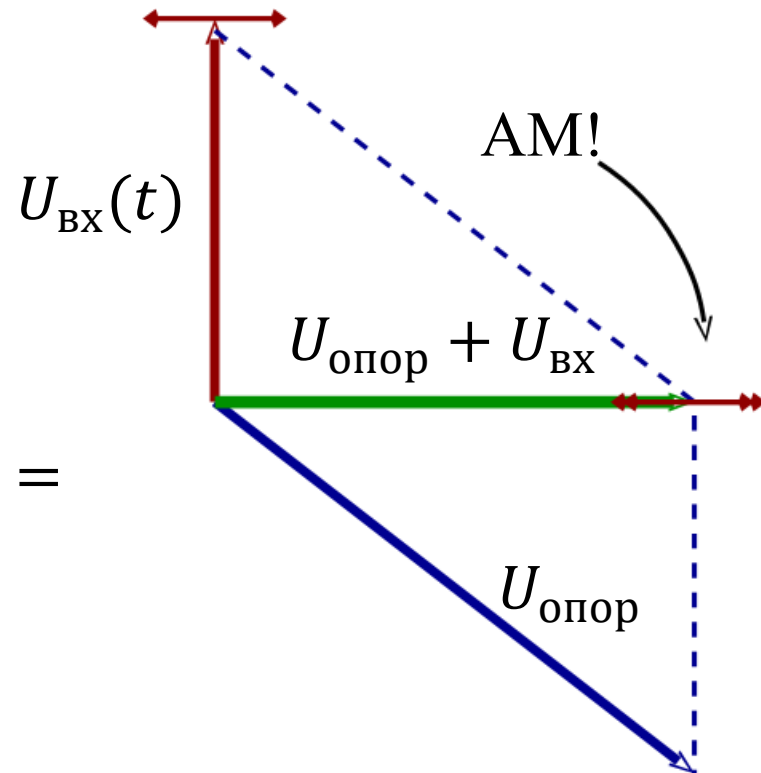


Фазовое детектирование: Можно перевести ФМ в АМ.

Нужно опорное колебание!

$$\begin{aligned}U_{\text{ВХ}}(t) &= U_0 \cos(\omega t + \phi(t)) = \\ &= U_0 \cos\phi \cos\omega t - \\ &\quad - U_0 \sin\phi \sin\omega t.\end{aligned}$$

Информация - в $\phi(t) \ll 1$.





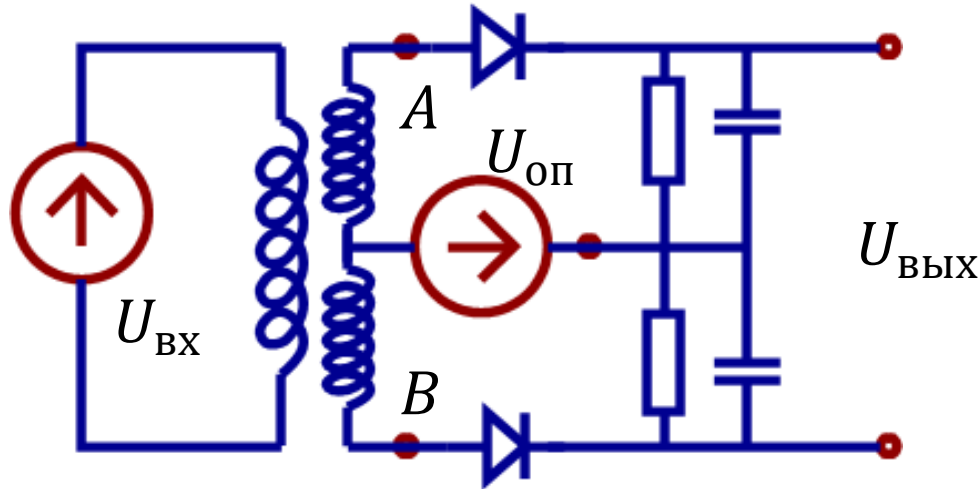
Фазовое детектирование.

На вход однопериодного детектора подаем сумму сигнала и опорного колебания:

$$\begin{aligned} U &= \underbrace{(U_0 \cos\phi \cos\omega t - U_0 \sin\phi \sin\omega t)}_{U_{\text{ВХ}}(t)} + \underbrace{(-U_0 \cos(\omega t) - U_1 \sin\omega t)}_{U_{\text{ОП}}(t)} \cong \\ &\cong -U_0 \underbrace{\sin\phi(t)}_{\cong\phi(t)} \sin\omega t + U_1 \sin\omega t - U_0 \underbrace{(1 - \cos\phi)}_{\cong\phi^2/2=1} \cos\omega t \cong \\ &\cong -U_1 \left(1 + \frac{U_0 \phi(t)}{U_1} \right) \sin\omega t \Rightarrow \text{АМ сигнал} \end{aligned}$$



Балансный фазовый детектор



На вход каждого детектора:

$$U_{A0} = U_{\text{оп}} - U_{\text{вх}},$$

$$U_{B0} = U_{\text{оп}} + U_{\text{вх}},$$

$$U_{\text{оп}} = U_1 \cos(\omega t + \theta),$$

θ -- пост. Пусть детекторы квадратичные. На выходе:

$$\begin{aligned} U_{\text{вх}} &\sim (U_{\text{оп}} + U_{\text{вх}})^2 - (U_{\text{оп}} - U_{\text{вх}})^2 = \\ &= 2U_{\text{оп}}U_{\text{вх}} = -U_0U_1 \cos[\theta - \phi(t)] + \dots \end{aligned}$$

После фильтрации:

$$= -U_0U_1 \sin\phi(t), \quad \text{при } \theta = \frac{\pi}{2}$$



Меняя фазу θ можно измерять *любую квадратуру*, т.е. АМ, ФМ или их комбинацию:

$$U_{\text{ВХ}} = U_0(1 + \alpha(t))\cos(\omega t + \phi(t)), \quad U_{\text{ОП}} = U_1\cos(\omega t + \theta)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} \sim U_{\text{ОП}} U_{\text{ВХ}} = U_0(1 + \alpha(t))U_1\cos[\theta - \phi(t)]$$

$$\theta = 0 : \quad U_{\text{ВЫХ}} \sim U_0U_1(1 + \alpha(t)),$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} : \quad U_{\text{ВЫХ}} \sim U_0U_1(1 + \alpha(t))\sin\phi(t) \cong U_0U_1\phi(t),$$

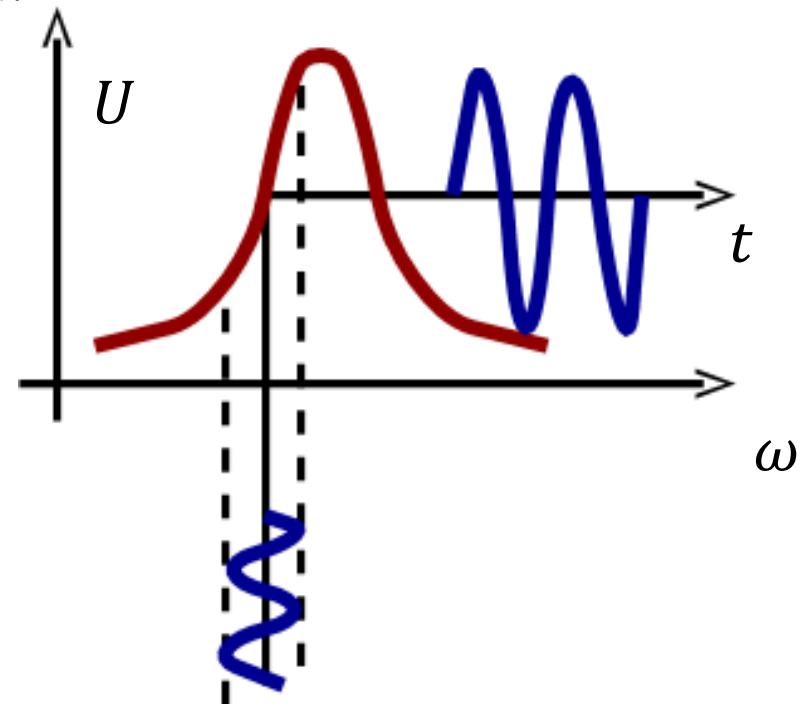
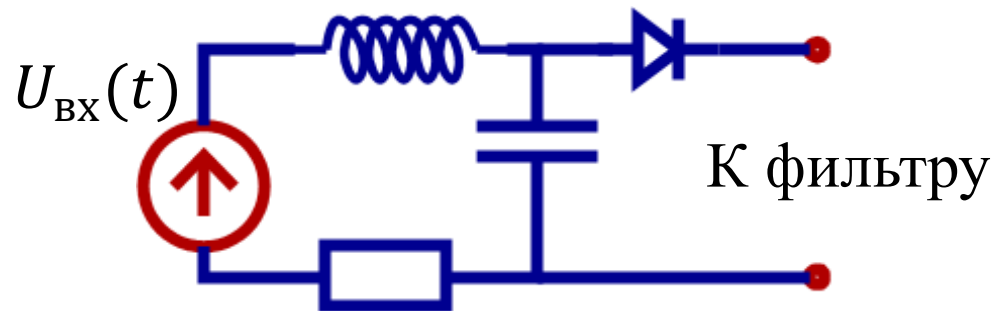
$$\theta \text{ произвольно: } U_{\text{ВЫХ}} \sim U_0U_1(\cos\theta + \alpha(t)\cos\theta - \phi(t)\sin\theta)$$



Частотное детектирование методом преобразования ЧМ в АМ

$$U_{\text{ВХ}}(t) = U_0 \sin \left\{ \int_0^t (1 + m \cos \Omega t) \omega_0 dt \right\}$$

Настроим несущую ЧМ сигнала на склон резонансной кривой контура:





Задача 8 «ЧМ в АМ»

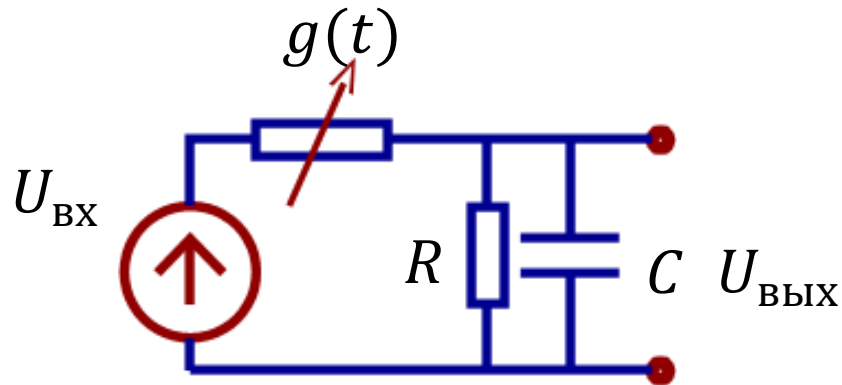
Сформулировать условия для преобразования ЧМ-сигнала в АМ-сигнал.

$$U(t) = U_0 \sin \left\{ \int_0^t (1 + m \cos \Omega t) \omega_0 dt \right\}$$

Как должны быть связаны величины ω , Ω и m с частотой $\omega_{\text{рез}}$ и добротностью Q контура?



Синхронное детектирование



$$U_{\text{ВХ}}(t) = U_m(t) \cos(\omega t + \phi(t)),$$

$$g(t) = g_0 + g_1 \cos(\omega t + \theta),$$

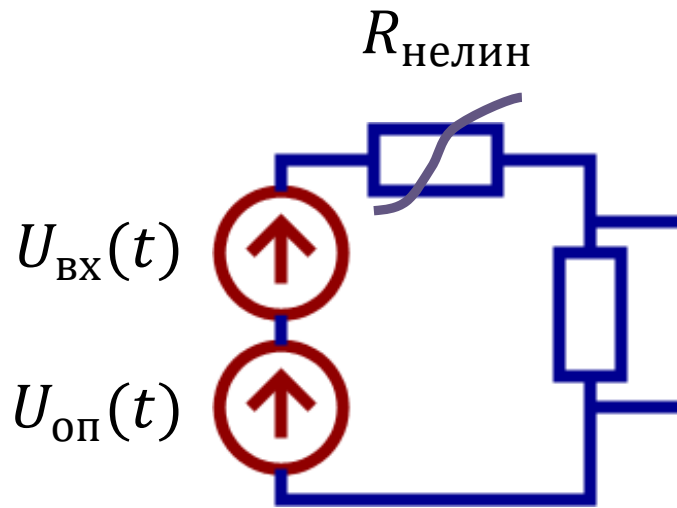
$$R, \left| \frac{1}{i\omega C} \right| \ll \frac{1}{g}$$

$$\begin{aligned} I(t) &\cong g(t)U_{\text{ВХ}}(t) = g_0 U_m(t) \cos(\omega t + \phi(t)) + \\ &+ \frac{g_1 U_m(t)}{2} \cos(2\omega t + \phi(t) + \theta) + \\ &+ \underbrace{\frac{g_1 U_m(t)}{2} \cos(\phi(t) - \theta)}_{\text{н.ч. составляющая}}, \end{aligned}$$

$$I_{\text{нч}} = \frac{g_1 U_m(t)}{2} \sin \phi(t) \text{ при } \theta = \frac{\pi}{2}$$



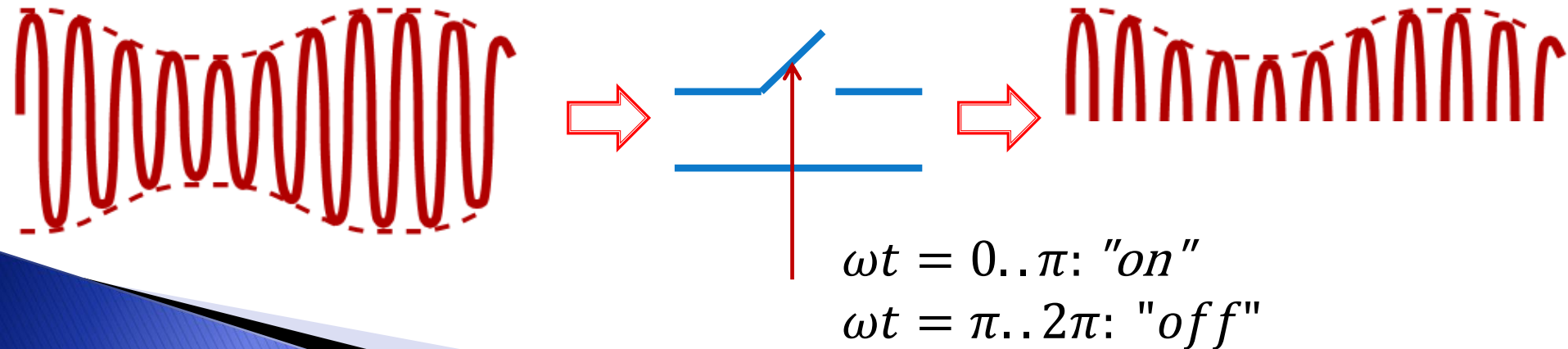
Практическая реализация синхронного детектора



Пусть $U_{0\text{ ОП}} \gg U_{0\text{ ВХ}}$

Тогда зависимость $R_{\text{нелин}}(U_{0\text{ ВХ}})$
можно пренебречь

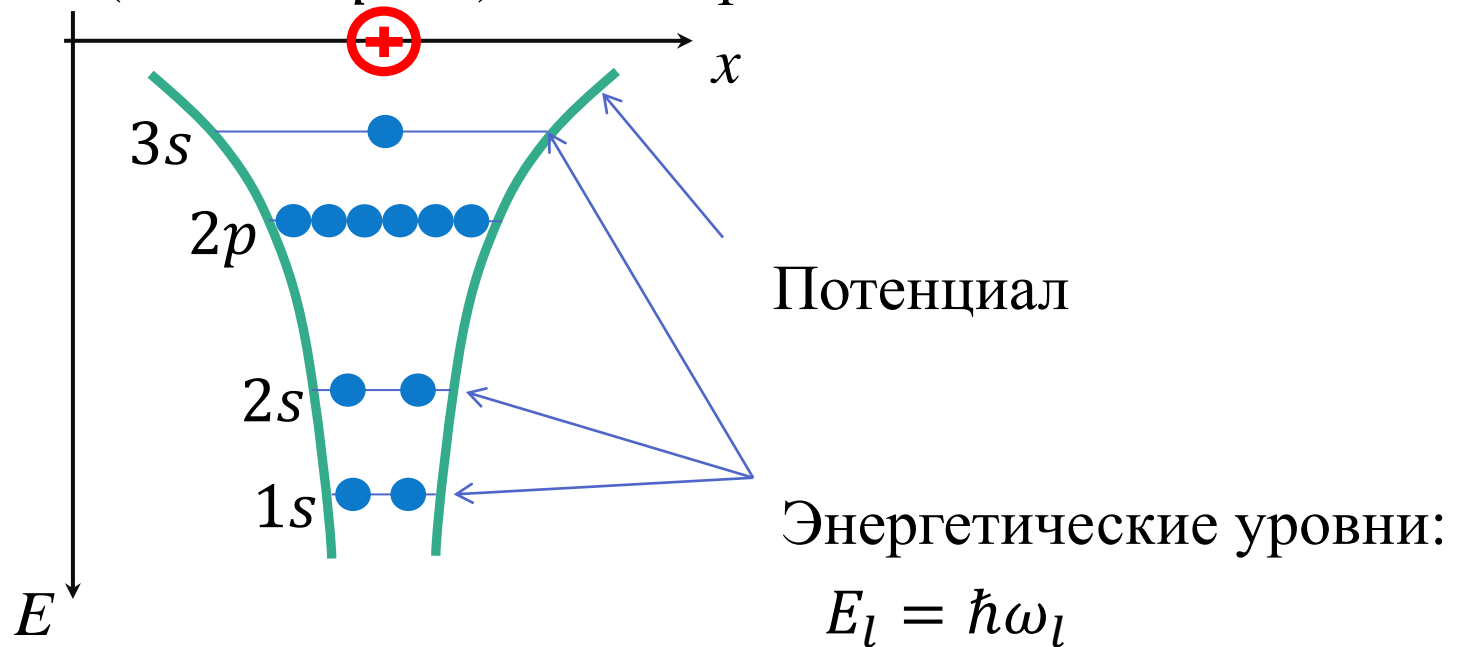
Вариант синхронного детектора – управляемый ключ:





К электронным свойствам полупроводников: образование энергетических зон в кристаллах

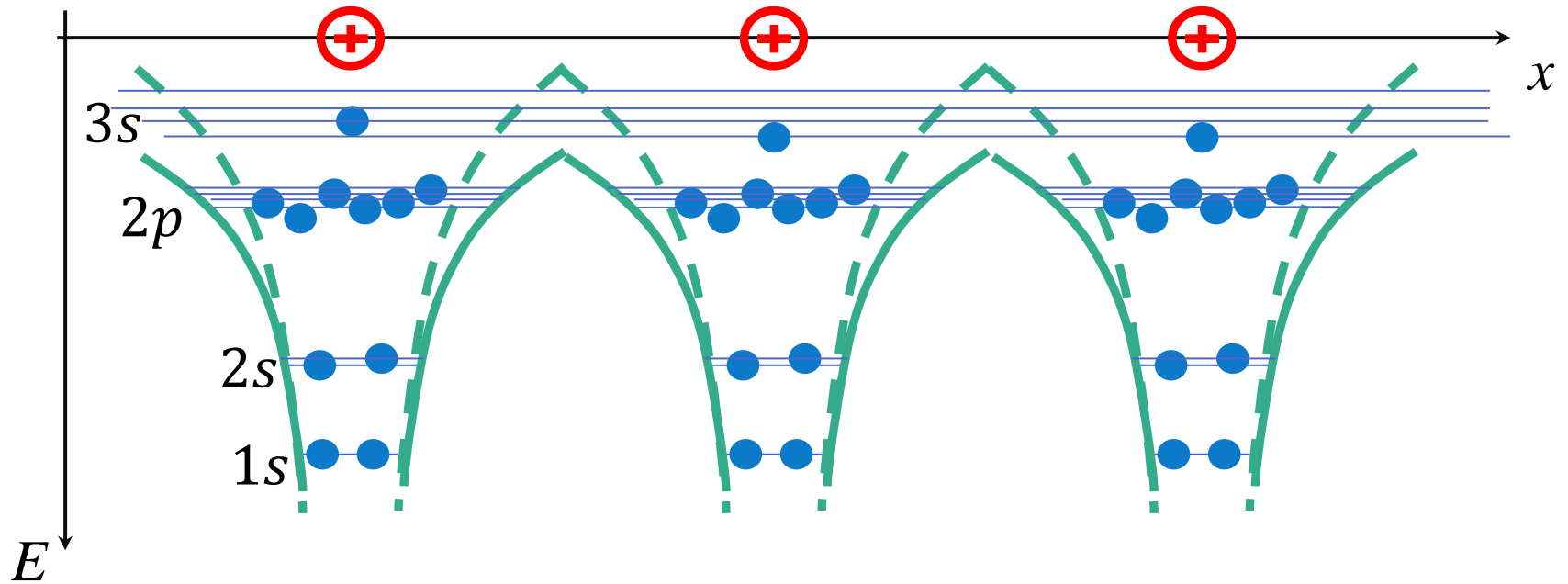
Пример: Na: $(1s^2 2s^2 2p^6 3s)$ – изолированный атом





К электронным свойствам полупроводников: образование энергетических зон в кристаллах

Атомы в решетке:

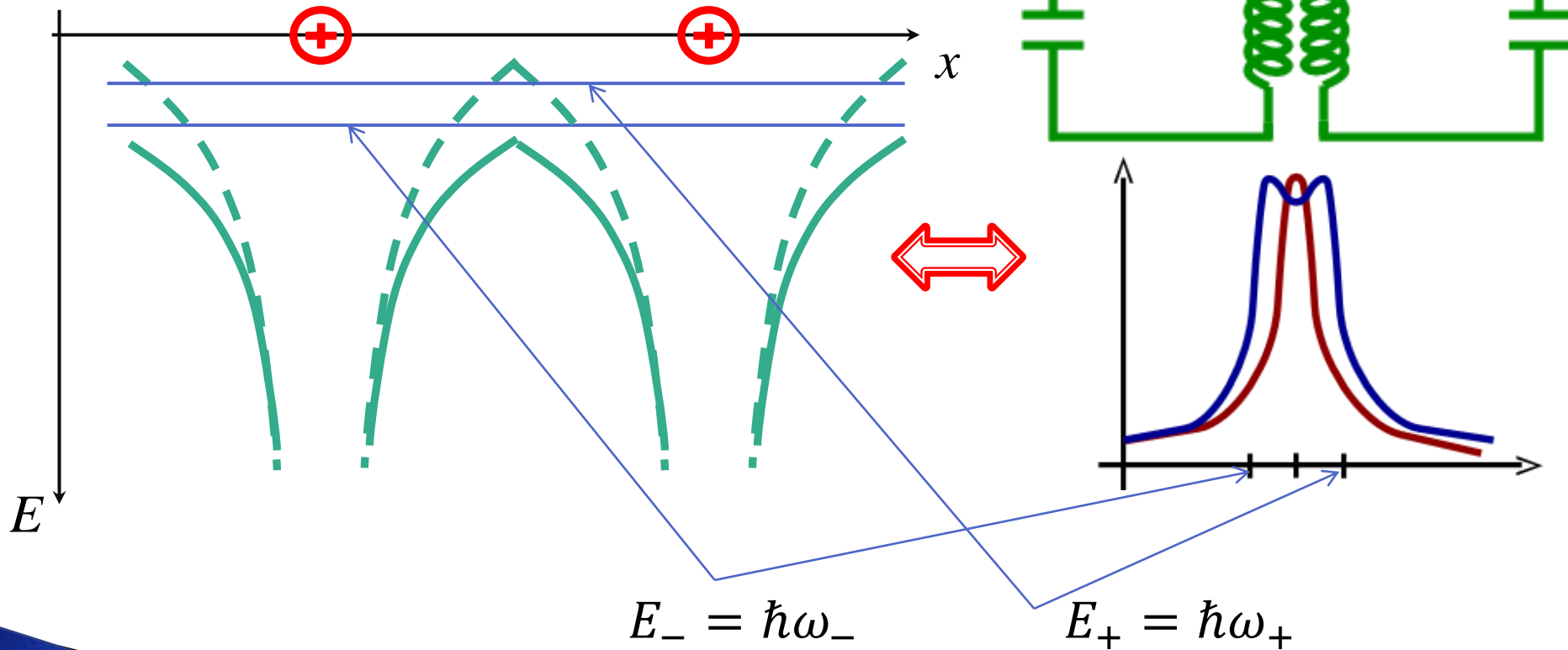


Электрическое поле «соседей» снимает вырождение по энергии



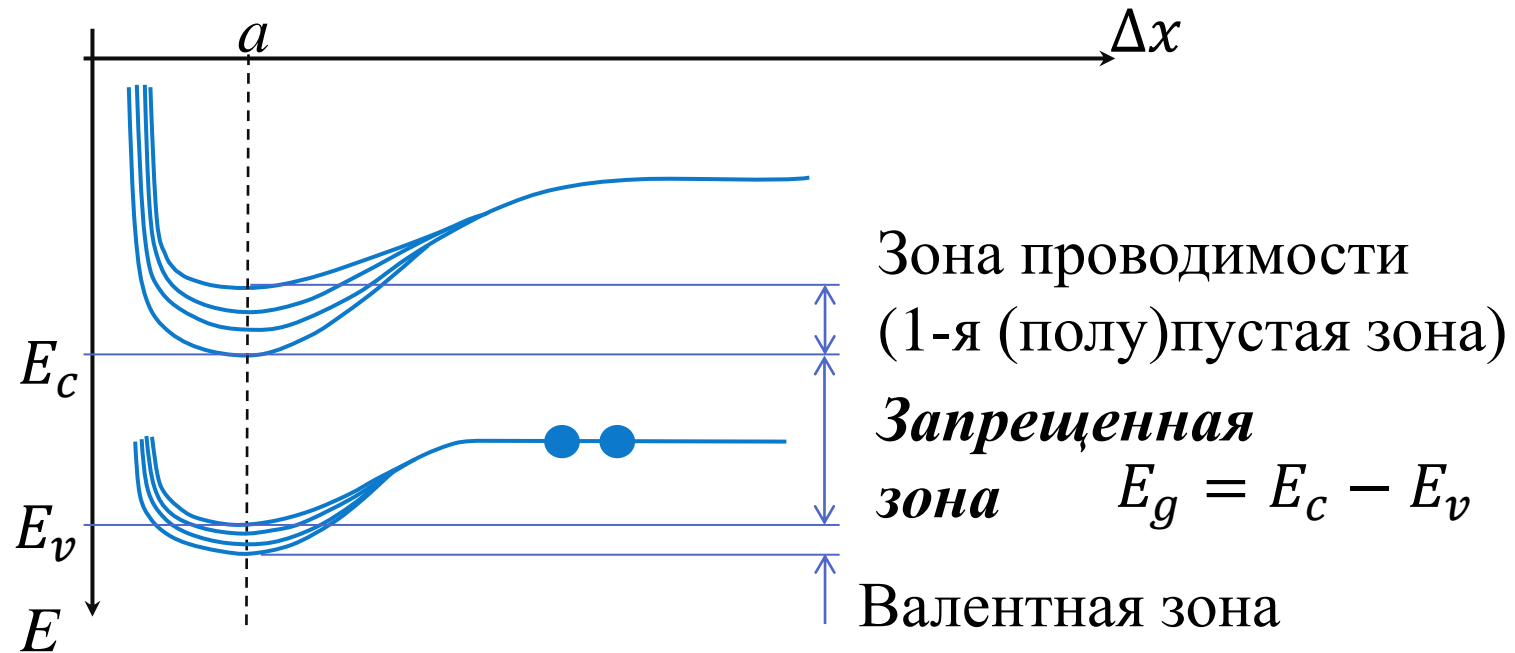
К электронным свойствам полупроводников: образование энергетических зон в кристаллах

Радиофизическая аналогия:





К электронным свойствам полупроводников: образование энергетических зон в кристаллах



В зоне порядка N_A уровней



Классификация твердых тел

проводники

изоляторы

полупроводники

а

б

$$E_g \gg kT$$

$$E_g \sim kT$$

Валентная зона заполнена
не полностью (а)
(- она же зона проводимости),
либо есть перекрытие зон (б)

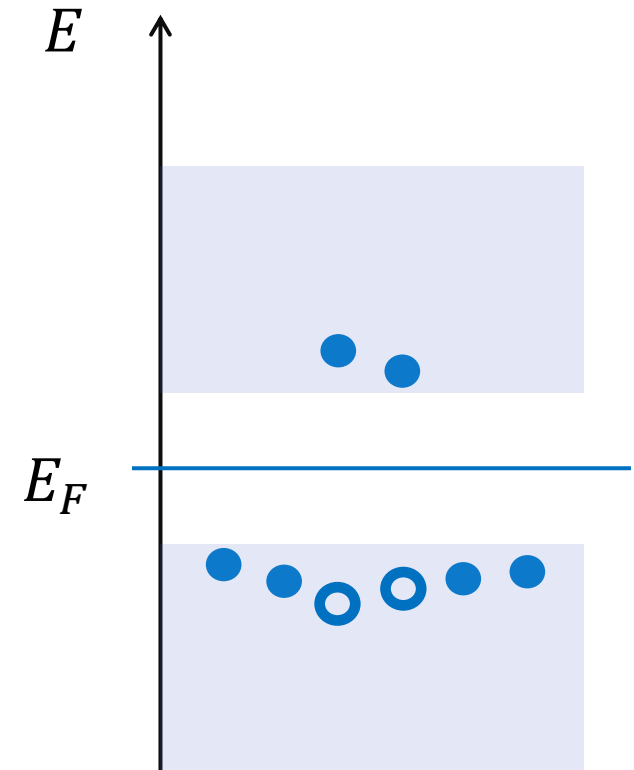
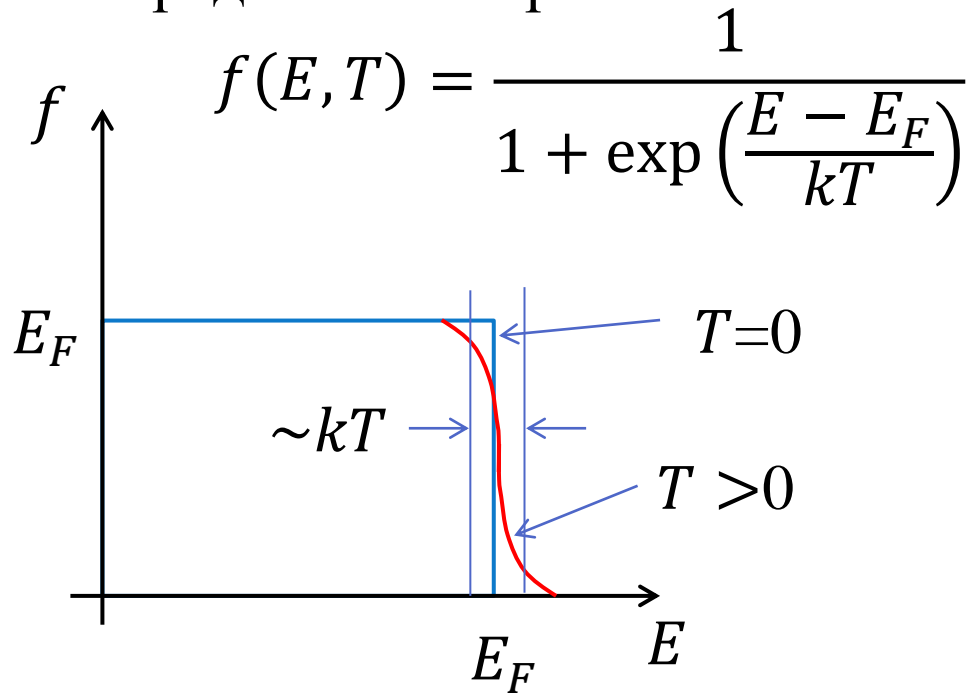
Валентная зона заполнена

Внутри зоны: $dE \cong \frac{\Delta E}{10^{23}}$ - очень мало!

Распределение электронов по энергиям



Распределение Ферми:



- Вырожденный электронный газ (металлы)

$$E_F \gg kT$$

При $E_g \gg kT$ для электронов и дырок у границы зоны:

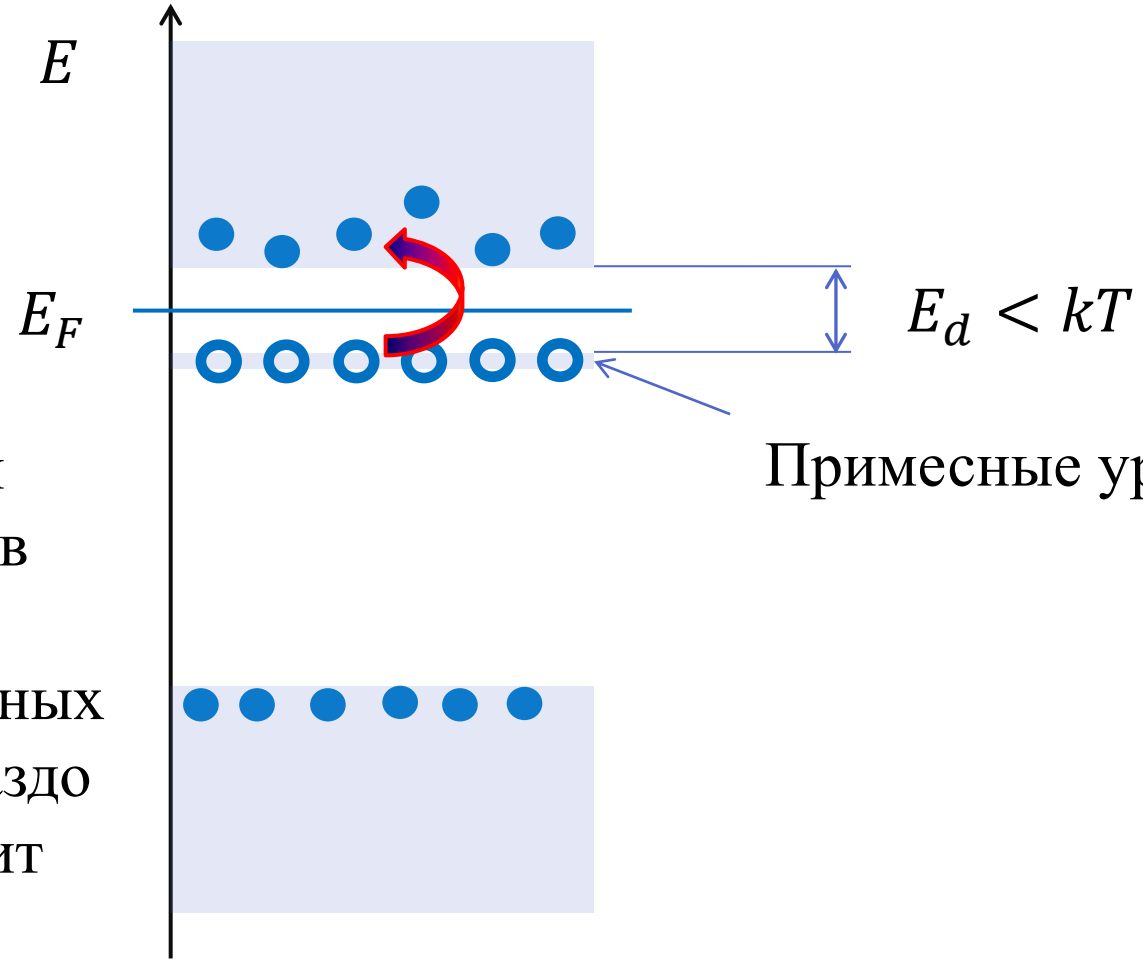
$$f(E, T) \cong -\exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)$$

невырожденный (классический) газ



Допированные (примесные, несообственные)

полупроводники



При наличии примеси (например, $\sim 0.01\%$ In в Ge) концентрация подвижных носителей заряда гораздо больше и слабо зависит от T