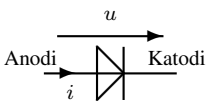
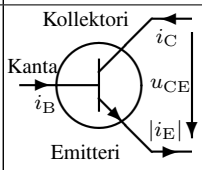
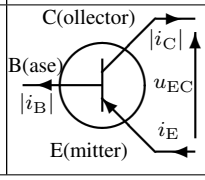
dtf.pdf versio 1.5 ©*Kimmo Silvonen*, **Aalto ELEC Sähköpaja, Sähkötekniikka ja elektroniikka**

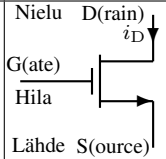
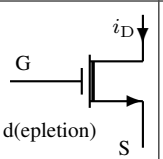
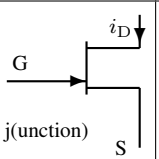
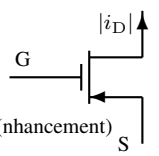
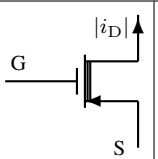
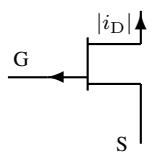
DIODI	 $pn-$ liitos	**APLAC** `VT=25.86496647m BV` $\approx U_\mathrm{Z}+0{,}7$ V `Diode D 1 2 IS=10f N=1 VT BV` $=\infty$
Virtayhtälö	$i = I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{u/(nU_T)}-1\right)$	$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}T}\Big\vert_{U\text{ on vakio}} \approx \mathrm{q}\frac{1{,}2\text{ V}-U}{nkT^2}\,I$
Jännite	$u = nU_T \ln\frac{i+I_\mathrm{S}}{I_\mathrm{S}} \approx 0{,}7V$	$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}T}\Big\vert_{I\text{ on vakio}} \approx n\frac{U-1{,}2\text{ V}}{T}$
Dynaaminen resistanssi	$r_\mathrm{d} = \frac{1}{\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}u}}\Big\vert_{i=I_\mathrm{D}} = \frac{nU_T}{I_\mathrm{D}}$	

$U_T = \frac{kT}{q}$ Lämpöjännite

$k = 1{,}380658\cdot 10^{-23}$ J/K

$q = 1{,}60217733\cdot 10^{-19}$ As

BJT Bipolar Junction Transistor	***npn*-transistori**	***pnp*-transistori**
$u_\mathrm{BE} = U_\mathrm{BE} + u_\mathrm{be}$ $u_\mathrm{CE} = U_\mathrm{CE} + u_\mathrm{ce}$ $i_\mathrm{B} = I_\mathrm{B} + i_\mathrm{b}$ $i_\mathrm{C} = I_\mathrm{C} + i_\mathrm{c}$ $\vert i_\mathrm{E}\vert = \vert i_\mathrm{B}\vert + \vert i_\mathrm{C}\vert$	 $u_\mathrm{CE} = u_\mathrm{BE} - u_\mathrm{BC}$ Itseisarvomerkkejä ei tarvita, jos suunnat valitaan kuvan mukaisesti; IEC määrittelee virtojen suunnat sisäänpäin.	 $u_\mathrm{EC} = u_\mathrm{EB} - u_\mathrm{CB}$ Itseisarvomerkkejä ei tarvita, jos suunnat valitaan kuvan mukaisesti; IEC määrittelee virtojen suunnat sisäänpäin.
Virtavahvistus	$u_\mathrm{CE} \geq 0{,}3$ V: $\vert i_\mathrm{C}\vert = \beta\vert i_\mathrm{B}\vert = \alpha\vert i_\mathrm{E}\vert$ $\alpha = \alpha_\mathrm{F} = \frac{\beta}{\beta+1}$ $\beta = \beta_\mathrm{F} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$	
Jännite	$u_\mathrm{BE} = U_T \ln\frac{i_\mathrm{C}+I_\mathrm{S}}{I_\mathrm{S}} \approx 0{,}7$ V	$U_T = \frac{kT}{q}$ $u_\mathrm{EB} = U_T \ln\frac{\vert i_\mathrm{C}\vert+I_\mathrm{S}}{I_\mathrm{S}} \approx 0{,}7$ V
(Ebers–Moll) $i_\mathrm{C} =$	$I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BE}/U_T}-1\right) - \frac{I_\mathrm{S}}{\alpha_\mathrm{R}}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BC}/U_T}-1\right)$ $I_\mathrm{CB0} = \frac{I_\mathrm{S}}{\alpha_\mathrm{R}}$	$I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{EB}/U_T}-1\right) - \frac{I_\mathrm{S}}{\alpha_\mathrm{R}}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{CB}/U_T}-1\right)$
(Ebers–Moll) $i_\mathrm{B} =$	$\frac{I_\mathrm{S}}{\beta}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BE}/U_T}-1\right) + \frac{I_\mathrm{S}}{\beta_\mathrm{R}}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BC}/U_T}-1\right)$	$\frac{I_\mathrm{S}}{\beta}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{EB}/U_T}-1\right) + \frac{I_\mathrm{S}}{\beta_\mathrm{R}}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{CB}/U_T}-1\right)$
(Ebers–Moll) $\vert i_\mathrm{E}\vert =$	$\frac{I_\mathrm{S}}{\alpha}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BE}/U_T}-1\right) - I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{BC}/U_T}-1\right)$ $I_\mathrm{EB0} = \frac{I_\mathrm{S}}{\alpha}$	$\frac{I_\mathrm{S}}{\alpha}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{EB}/U_T}-1\right) - I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{u_\mathrm{CB}/U_T}-1\right)$
(Ebers–Moll) B–E	$I_\mathrm{S}\mathrm{e}^{u_\mathrm{BE}/U_T} = i_\mathrm{C} + I_\mathrm{S} + \frac{i_\mathrm{C}-\beta i_\mathrm{B}}{\beta\alpha_\mathrm{R}-\beta-1}$	$I_\mathrm{S}\mathrm{e}^{u_\mathrm{EB}/U_T} = \vert i_\mathrm{C}\vert + I_\mathrm{S} + \frac{\vert i_\mathrm{C}\vert-\beta\vert i_\mathrm{B}\vert}{\beta\alpha_\mathrm{R}-\beta-1}$
(Ebers–Moll) B–C	$I_\mathrm{S}\mathrm{e}^{u_\mathrm{BC}/U_T} = I_\mathrm{S} + \alpha_\mathrm{R}\frac{i_\mathrm{C}-\beta i_\mathrm{B}}{\beta\alpha_\mathrm{R}-\beta-1}$	$I_\mathrm{S}\mathrm{e}^{u_\mathrm{CB}/U_T} = I_\mathrm{S} + \alpha_\mathrm{R}\frac{\vert i_\mathrm{C}\vert-\beta\vert i_\mathrm{B}\vert}{\beta\alpha_\mathrm{R}-\beta-1}$
Dyn. resistanssi, Early-j.	$U_\mathrm{A} > 0$ $r_\pi = \frac{U_T}{\vert I_\mathrm{B}\vert}$ $r_\mathrm{e} = \frac{U_T}{\vert I_\mathrm{E}\vert}$ $r_\mathrm{o} = \frac{\vert U_\mathrm{A}\vert}{\vert I_\mathrm{C}\vert}$	$U_\mathrm{A} < 0$
Transkonduktanssi	$g_\mathrm{m} = \frac{\vert I_\mathrm{C}\vert}{U_T} = \frac{\beta}{r_\pi}$ $i_\mathrm{c} = g_\mathrm{m}u_\pi = g_\mathrm{m}r_\pi i_\mathrm{b} = \beta i_\mathrm{b}$ $u_\pi = u_\mathrm{be}$	
APLAC (Ebers–Moll)	`Trans T C B E NPN BETA=99 AF=0.99 AR=0.5 VT DIODE_BE IS N DIODE_BC IS N`	

Avaus/Sulku/Liitos-FET	**e-nmosfet**	**d-nmosfet**	**njfet**	**e-pmosfet**	**d-pmosfet**	**pjfet**
$u_\mathrm{GS} = U_\mathrm{GS} + u_\mathrm{gs}$ $u_\mathrm{DS} = U_\mathrm{DS} + u_\mathrm{ds}$ $i_\mathrm{D} = I_\mathrm{D} + i_\mathrm{d}$ $i_\mathrm{G} = 0$						
Kynnys-/kuristusjännite	$U_\mathrm{t} > 0$	$U_\mathrm{t} < 0$	$U_\mathrm{t} = U_\mathrm{P} < 0$	$U_\mathrm{t} < 0$	$U_\mathrm{t} > 0$	$U_\mathrm{t} = U_\mathrm{P} > 0$
Johtavuusparametri K	$k\frac{W}{L} = \frac{1}{2}k'\frac{W}{L} = \frac{1}{2}\mu_\mathrm{n}C_\mathrm{OX}\frac{W}{L}$	$I_\mathrm{DSS}/U_\mathrm{P}^2$		$k\frac{W}{L} = \frac{1}{2}k'\frac{W}{L} = \frac{1}{2}\mu_\mathrm{p}C_\mathrm{OX}\frac{W}{L}$	$I_\mathrm{DSS}/U_\mathrm{P}^2$	
Saturaatioalue (SAT)	$u_\mathrm{DS} \geq u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t}$			$u_\mathrm{DS} \leq u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t}$		
Triodialue (TRI)	$u_\mathrm{DS} \leq u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t}$			$u_\mathrm{DS} \geq u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t}$		
Sulkutila ($i_\mathrm{D} = 0$)	$u_\mathrm{GS} \leq U_\mathrm{t}$			$u_\mathrm{GS} \geq U_\mathrm{t}$		
Johtavuustila	$u_\mathrm{GS} \geq U_\mathrm{t}$			$u_\mathrm{GS} \leq U_\mathrm{t}$		
Kanavan jännite	$u_\mathrm{DS} \geq 0$			$u_\mathrm{DS} \leq 0$		
SAT-alue	$i_\mathrm{G} = 0$	$\vert i_\mathrm{D}\vert = \vert i_\mathrm{S}\vert = K(u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t})^2(1 + \lambda u_\mathrm{DS})$	$\lambda = \frac{1}{U_\mathrm{A}}$	Huom. suunta yllä		
TRI-alue	$i_\mathrm{G} = 0$	$\vert i_\mathrm{D}\vert = \vert i_\mathrm{S}\vert = K\left[2(u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t})u_\mathrm{DS} - u_\mathrm{DS}^2\right]$		Huom. suunta yllä		
Ohminen alue	$i_\mathrm{G} = 0$	$\vert i_\mathrm{D}\vert = \vert i_\mathrm{S}\vert = \frac{\vert u_\mathrm{DS}\vert}{r_\mathrm{DS}} \approx 2K(u_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t})u_\mathrm{DS}$		kun $\vert u_\mathrm{DS}\vert$ on pieni		
Transkondukt., Early-j.	$U_\mathrm{A} > 0$	$g_\mathrm{m} = 2K\vert U_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t}\vert = 2\sqrt{K\vert I_\mathrm{D}\vert}$	$r_\mathrm{o} \approx \frac{\vert U_\mathrm{A}\vert}{\vert I_\mathrm{D}\vert}$	$U_\mathrm{A} < 0$		
APLAC (enh./depl.)	`Mosfet Q D G S B N(P) L=0.1m W=0.1m KP UO` ($\mu_{\mathrm{n(p)}}$/[cm^2/Vs]) `COX VTO LAMBDA=0`			$K = \frac{1}{2}\mathtt{KP}\frac{W}{L}$		
APLAC (jfet)	`Jfet Q D G S N(P) VTO=-2 LAMBDA=0 BETA` ($= K$)					