

6.7 Шестипульсовая (трехфазная) мостовая схема выпрямления

6.7.1 Схема и ее описание

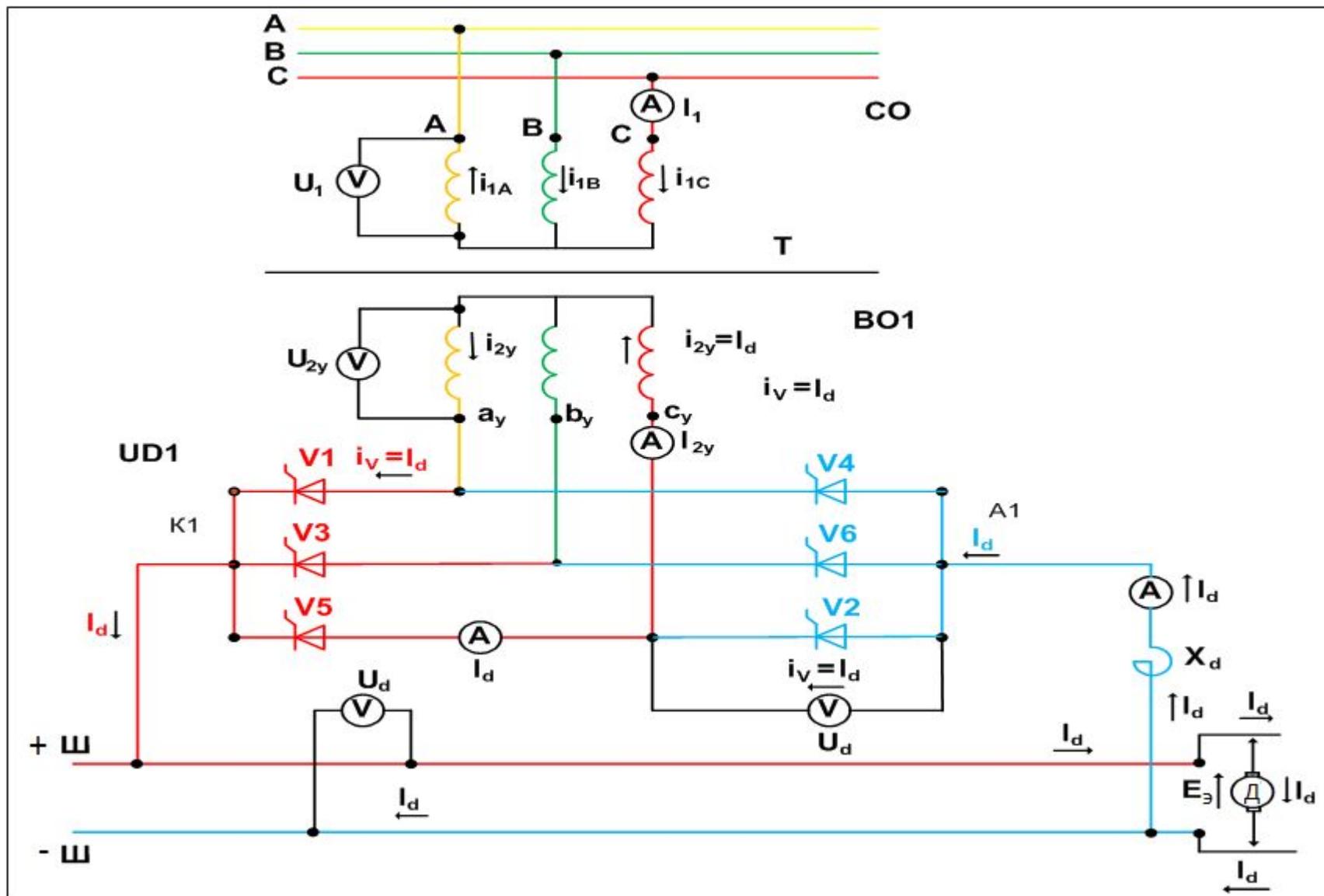


Рисунок 6.6.1 – Шестипульсовая мостовая схема

Шестипульсовая мостовая схема выпрямления состоит из трехфазного преобразовательного трансформатора **T** и шести диодов.

V_1, V_3, V_5 , у которых объединены катоды образуют катодную группу и работают на положительных полуволнах напряжения u_2 , а общий катод **K** подключается к **+ш**.

Диоды V_2, V_4, V_6 , у которых объединены аноды, образуют анодную группу и работают при отрицательных полуволнах напряжения u_2 , а общий анод **A** подключается к **-ш**.

В любой момент времени работают два диода последовательно, один из катодной, а другой из анодной группы.

Принятые допущения:

1. Напряжение в питающей сети, а следовательно во вторичной обмотке преобразовательного трансформатора синусоидальные

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \Theta \quad , \quad (6.7.1)$$

$$\text{где } \Theta = \omega t$$

2. Индуктивное сопротивление питающей и трансформатора равны 0

$$x_C > 0, x_T > 0, x_V > 0$$

Поэтому коммутация тока мгновенная и угол коммутации $\gamma > 0$

3. Индуктивное сопротивление сглаживающего реактора принимается

$$x_d = \infty$$

Поэтому мгновенное значение тока равно среднему значению

$$i_d = I_d$$

6.7.2. Временные диаграммы и порядок их построения

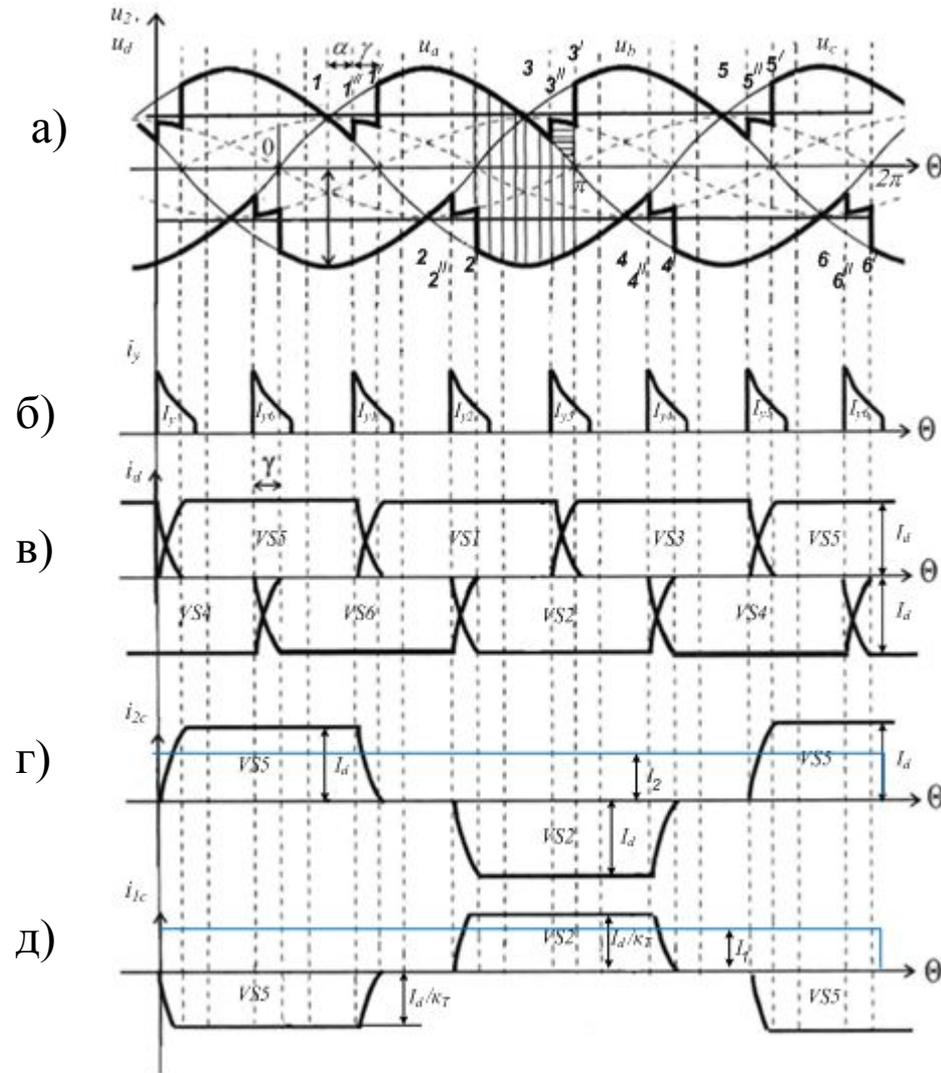


Рисунок 6.7.2(а) – Временные диаграммы напряжений ВО u_2 , выпрямленного напряжения u_d , диодного плеча u_v , токов нагрузки i_d , ВО i_2 , СО i_1 и диодного плеча i_v при $\gamma=0$.

6.7.3 Работа схемы в момент $\Theta 1$

Работают V1, т.к. $u_a \rightarrow \max$

V2, т.к. $u_c \rightarrow \min$

Потенциал общего катода $u_K = u_a$

общего анода $u_A = u_c$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_d = u_K - u_A = u_a - u_c$$

За период $0 \leq \Theta \leq 2\pi$ переход тока с одного диода на другой происходит в
Таблица 6.7.1 – Последовательность работы тиристоров за полный период от 0 до 2π
точках естественного включения

Период времени, между точками	1''	2''	3''	4''	5''	6''	1''
Работает диод катодной группы	V1		V3		V5		V1
Работает диод анодной группы	V6	V2		V4		V6	
u_K	u_a		u_b		u_c		u_a
u_A	u_b	u_c		u_a		u_b	
u_d	u_{ab}	u_{ac}	u_{bc}	u_{ba}	u_{ca}	u_{cb}	u_{ab}

6.7.4 Распределение тока в фазах сетевой обмотки

В момент Θ_1 : по первому закону Кирхгофа для узла электрической цепи

$$i_{1A} + i_{1B} + i_{1C} = 0 \quad (6.7.3)$$

по второму закону Кирхгофа для магнитной цепи

$$i_{1A}\omega_1 - i_{1C}\omega_1 - I_d\omega_2 - I_d\omega_2 = 0 \quad (6.7.4)$$

$$i_{1A}\omega_1 - i_{1B}\omega_1 - I_d\omega_2 = 0 \quad (6.7.5)$$

Примем число витков первичной и вторичной обмотки равны $\omega_1 = \omega_2$,

Тогда коэффициент трансформации $k_T = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 1$

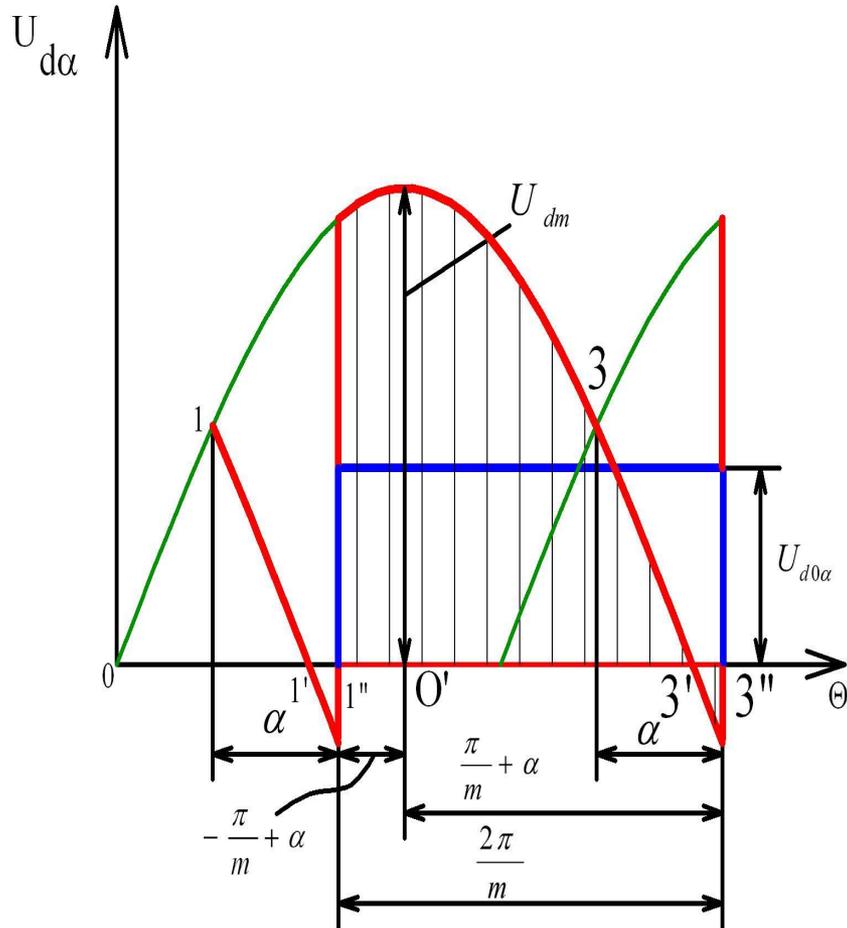
$$\left. \begin{array}{l} \text{из (6.6.4) получим } i_{1C} = -2I_d \\ \text{из (6.6.5) получим } i_{1B} = -I_d \end{array} \right\} \quad (6.7.6)$$

Подставим из (6.7.6) в (6.7.3) получим $3i_{1A} = 3I_d$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Тогда с учетом (6.6.6)} \\ i_{1A} = I_d \\ i_{1B} = 0 \\ i_{1C} = -I_d \end{array} \right\} \quad (6.7.7)$$

6.7.5 Основные расчетные соотношения

Мгновенное значение выпрямленного напряжения



Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d относительно O' для любой « m » пульсовой схемы из рисунка будет равно

$$u_d = U_{d\max} \cdot \cos \Theta \quad \left. \begin{array}{l} \text{в пределах} \\ -\frac{\pi}{m} + \alpha \leq \Theta \leq +\frac{\pi}{m} + \alpha \end{array} \right\} (6.7.8)$$

где $U_{d\max} = D_{CX} \sqrt{2} U_2$

Рисунок 6.6.3 – Временная диаграмма напряжения u_d за период $2\pi/m$.

Среднее значение выпрямленного напряжения

Среднее значение выпрямленного напряжения для “m”
пульсовой схемы находится из условия

$$U_{d0} \cdot \frac{2\pi}{m} = \int_{-\frac{\pi}{m}}^{+\frac{\pi}{m}} U_{d\max} \cos \Theta \cdot d\Theta \quad (6.7.9)$$

Из (6.9)

$$U_{d0} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \int_{-\frac{\pi}{m}}^{+\frac{\pi}{m}} \cos \Theta d\Theta = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \sin \Theta \Bigg|_{-\frac{\pi}{m}}^{+\frac{\pi}{m}} \quad (6.7.10)$$

Среднее значение выпрямленного напряжения

- Определим среднее значение выпрямленного напряжения из условия при $0 \leq \alpha \leq 30^\circ$ эл

$$U_{d0\alpha} \cdot \frac{2\pi}{m} = \int_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} U_{d\max} \cdot \cos \Theta d\Theta \quad (6.7.11)$$

откуда

$$U_{d0\alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \cdot \sin \Theta \Big|_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \left[\sin \left(\frac{\pi}{m} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{m} + \alpha \right) \right]$$

$2 \sin \pi/m * \cos \alpha$ (6.7.12)

с учетом (6.7.2) и (6.7.3) получим

при $\alpha=0$

$$U_{d0} = \frac{U_{d\max}}{\frac{\pi}{m}} \sin \frac{\pi}{m} = \frac{U_{d\max} \cdot \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} \quad (6.7.13)$$

Для 6 п.м. $D_{сх} = \sqrt{3}$; $m = 6$; $U_{d0} = 2,34U_2$

при $0 < \alpha \leq 30^\circ$ эл.

$$U_{d0\alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi}{m} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{m} + \alpha \right)}{2 \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha} \right] \quad (6.7.14)$$

с учетом (6.7.13) (6.7.15)

$$U_{d0\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha$$

После подстановки пределов из (6.7.10) получим

$$U_{d0} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \left[\sin \frac{\pi}{m} - \sin \left(-\frac{\pi}{m} \right) \right] \quad (6.7.16)$$

$$2 \sin \frac{\pi}{m}$$

Окончательно

$$U_{d0} = \frac{U_{d\max} \cdot \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} = \frac{D_{CX} \sqrt{2} U_2 \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} \quad (6.7.I^*)$$

Для 6 п.м.:

$$D_{CX} = \sqrt{3}, \quad m = 6$$

Среднее значение выпрямленного напряжения, после подстановки значений D_{CX} и m в формулу 6.7.I*, равно

$$U_{d0} = 2,34 \cdot U_2 \quad (6.7.I)$$

Расчетные параметры диодного плеча

Мгновенное значение обратного напряжения прикладываемого к V1 от вторичных (вентильных) обмоток трансформатора равно

$$u_{V1} = u_{A1} - u_{K1} = u_a - u_b = u_{2Л}$$

Амплитудное значение обратного напряжения

$$U_{V\max} = U_{2Л\max} = \sqrt{3}\sqrt{2}U_2 = \sqrt{6}U_2$$

или подставив U_2 из (6.7.I)

$$U_{V\max} = \frac{\sqrt{6}U_{d0}}{2,34} = 1,045 \cdot U_{d0}$$

(6.7.17)

} (6.7.II)

Максимальное значение тока диодного плеча

$$I_{V\max} = K_{CX} \cdot I_d \quad (6.7.III)$$

Среднее значение тока диодного плеча

$$I_V \cdot 2\pi = K_{CX} \cdot I_d \cdot \lambda_V \quad (6.7.18)$$

откуда

$$I_V = K_{CX} \cdot I_d \cdot \frac{\lambda_V}{2\pi} \quad (6.7.IV)$$

Для бпм схемы

$$K_{CX} = 1; \lambda_V = \frac{2\pi}{3}$$

$$\text{Тогда из (6.7.IV)} \quad I_V = \frac{I_d}{3} \quad (6.7.IV')$$

Расчетные параметры трансформатора

Действующее значение тока ВО находится из условия равенства нагрева обмотки током I_2 за период 2π и реальным током, протекающим через обмотку

$$I_2^2 \cdot 2\pi \cdot r_2 = (K_{CX} I_d)^2 \cdot \lambda_2 \quad (6.7.19)$$

Из (6.7.19) ток

$$I_2 = K_{CX} I_d \sqrt{\frac{\lambda_2}{2\pi}} \quad (6.7.20)$$

для бпм схемы

$$\lambda_2 = \lambda_{V_1} + \lambda_{V_2} = \frac{2\pi}{3} \cdot 2 \quad (6.7.21)$$

подставив λ_2 и K_{CX} из (6.7.21) в (6.7.20) получим

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d \quad (6.7.V)$$

Расчетная мощность ВО, определяющая общий расход меди на ВО равна

$$S_2 = m_2 \cdot I_2 \cdot U_2 \quad (6.7.22)$$

При $m_2=3$, подставив I_2 из (6.7.V), U_2 из (6.7.I) получаем

$$S_2 = 1,05 \cdot P_d \quad , \quad (6.7.VI)$$

где $P_d = U_{d0} \cdot I_d$

Действующее значение тока СО находится из условия равенства нагрева обмотки током I_1 за период 2π и реальным током, протекающим через обмотку

$$I_1^2 \cdot 2\pi \cdot r_1 = \left(K_{CX} \frac{I_d}{K_T} \right)^2 \lambda_1 r_1 \quad (6.7.23)$$

откуда

$$I_1 = K_{CX} \frac{I_d}{K_T} \sqrt{\frac{\lambda_1}{2\pi}} \quad (6.7.24)$$

для БПМ

$$K_{CX} = 1, \quad \lambda_1 = \frac{2\pi}{3} \cdot 2 \quad (6.7.25)$$

Тогда из (6.7.24) с учетом (6.7.25) ток

$$I_1 = \frac{I_d}{K_T} \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (6.7.VII)$$

Расчетная мощность СО, определяющая общий расход меди на СО равна

$$S_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 = 3 \cdot \frac{I_d}{K_T} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U_{d0} \cdot K_T}{2,34} = 1,05 P_d \quad (6.7.VIII)$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1,05 P_d \quad (6.7.IX)$$

Таблица 6.7.2 – Основные соотношения шестипульсовых схем выпрямления

Обозначение параметра	Схема выпрямления	
	две обратные звезды с уравнительным реактором	шестипульсовая мостовая
D_{CX}	0,866	$\sqrt{3}$
U_{d0}	$U'_{d0} = 1,35U_2$ $U_{d0} = 1,17U_2$	$2,34U_2$
U_{vmax}	$2,09U_{d0}$	$1,045U_{d0}$
K_{CX}	0,5	1
I_v	$I_d/6$	$I_d/3$
I_{vmax}	$0,5I_d$	I_d
I_2	$\frac{I_d}{2\sqrt{3}}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}I_d$
I_1	$\frac{1}{K_T} \cdot \frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{K_T} I_d \sqrt{\frac{2}{3}}$
S_2	$1,48P_d$	$1,05P_d$
S_1	$1,05P_d$	$1,05P_d$
S_T	$1,26P_d$	$1,05P_d$