

## 6. RELATIVNE BRZINE VRTNJE SATELITA

### 6.1 Općenito o relativnoj brzini vrtnje satelita

Relativne brzine vrtnje satelita utječe na trajnost ležajeva, razinu buke [69], gubitke u ležajevima, ulju i ozubljenju te oštećenje bokova zubi zupčanika. Vrlo je važno da izabrana varijanta i njeni parametri osiguravaju da relativne brzine vrtnje satelita imaju prihvatljive vrijednosti.

U [54] se preporuča da relativna brzina vrtnje satelita na planetnim pretvaračima ne bude veća od brzine vrtnje sunčanog zupčanika. U [1] se kao najveća prihvatljiva relativna brzina vrtnje satelita navodi  $12000 \text{ min}^{-1}$ .

### 6.2 Specifične relativne brzine vrtnje satelita

Relativne brzine vrtnje satelita su ovisne u brzini vrtnje ulaznog vratila. Povećanjem ili smanjenjem brzine vrtnje ulaznog vratila linearno se povećava ili smanjuje relativna brzina vrtnje satelita. Kako bi se varijanta pretvarača mogla ocijeniti i usporediti s drugim varijantama pretvarača u ovom radu se primjenjuje *specifična relativna brzina vrtnje satelita*  $n_{2rs}$ . Pod tim pojmom se u ovom radu podrazumijeva omjer relativne brzine vrtnje satelita  $n_{2r}$  i brzine vrtnje ulaznog vratila pretvarača  $n_A$ . Uz poznatu brzinu vrtnje ulaznog vratila (pogonskog stroja) iz ovog omjera se lako uviđa iznos relativne brzine vrtnje satelita. Maksimalna dopuštena vrijednost specifične relativne brzine vrtnje satelita  $n_{2rs\text{dop}}$  ovisi o brzini vrtnje ulaznog vratila i primjeni pretvarača.

U obje brzine dvovodilnog pretvarača se može za svaki planetni slog izvesti ovisnost specifične relativne brzine vrtnje satelita o idealnim momentnim omjerima  $t_I$  i  $t_{II}$ . To znači da svaka varijanta ima četiri funkcije koje opisuju intenzitet specifične relativne brzine vrtnje satelita u domeni idealnih momentnih omjera  $t_I$ ,  $t_{II}$ .

Svaka od funkcija ima oblik:

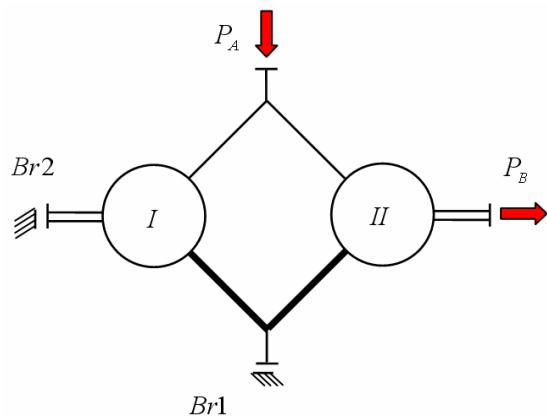
$$n_{2rs} = n_{2rs}(t_I, t_{II}) \quad (6.2.1)$$

Pri izvođenju izraza za specifičnu relativnu brzinu vrtnje polazi se od izraza (2.7.11), (2.7.12) i (2.7.13). Zbog jednostavnosti praćenja u Tab. 6.2.1 su ponovo navedena ova tri izraza.

**Tab. 6.2.1 Intenziteti relativnih brzina vrtnje satelita ovisno o slučaju**

Slučaj	Ulezno i izlazno vratilo	$n_{2r}$
1	sunčani zupčanik i vodilo	$n_{2r} = \frac{2}{t-1}  n_1 - n_V  < n_{2rdop}$
2	vijenac i vodilo	$n_{2r} = \frac{2t}{t-1}  n_3 - n_V  < n_{2rdop}$
3	vijenac i sunčani zupčanik	$n_{2r} = \frac{2t}{t^2-1}  n_3 - n_1  < n_{2rdop}$

U nastavku je kao primjer prikazan izvod izraza za specifičnu relativnu brzinu vrtnje satelita za drugi planetni slog varijante S55V5 koja radi u brzini Br2. Simbolički prikaz varijante S55V5 je prikazan na sl. 6.2.1.



**Sl. 6.2.1 Simbolički prikaz varijante S55V5**

Zbog poznatih brzina vrtnje sunčanog zupčanika i vodila prikladan za izvođenje specifične relativne brzine vrtnje satelita kao funkcije idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$  je izraz koji sadrži brzinu vrtnje sunčanog zupčanika i brzinu vrtnje vodila (izraz u prvom retku Tab. 6.2.1).

Za drugi planetni slog uz uključenu kočnicu Br2 izraz iz prvog retka Tab. 6.2.1 je:

$$n_{2r_{II}Br_2} = \frac{2}{t_{II}-1} (n_I - n_V) \quad (6.2.2)$$

Dijeljenjem izraza (6.2.2) s brzinom pogonskog vratila  $n_A$  (koja je jednaka brzini vrtnje sunčanog zupčanika drugog planetnog sloga  $n_I$ ) dobiva se specifična relativna brzina vrtnje satelita drugog planetnog sloga u brzini Br2 kao funkcija idealnog momentnog omjera drugog planetnog sloga  $t_{II}$  i kinematičkog prijenosnog omjera  $i_{Br_2}$ :

$$n_{2rs_{II}Br_2} = \frac{2}{t_{II}-1} \left( 1 - \frac{1}{i_{Br_2}} \right) \quad (6.2.3)$$

Kinematički prijenosni omjer iz Tab. 4.4.1 je:

$$i_{Br_2} = \frac{t_I + t_I t_{II}}{t_I - t_{II}} \quad (6.2.4)$$

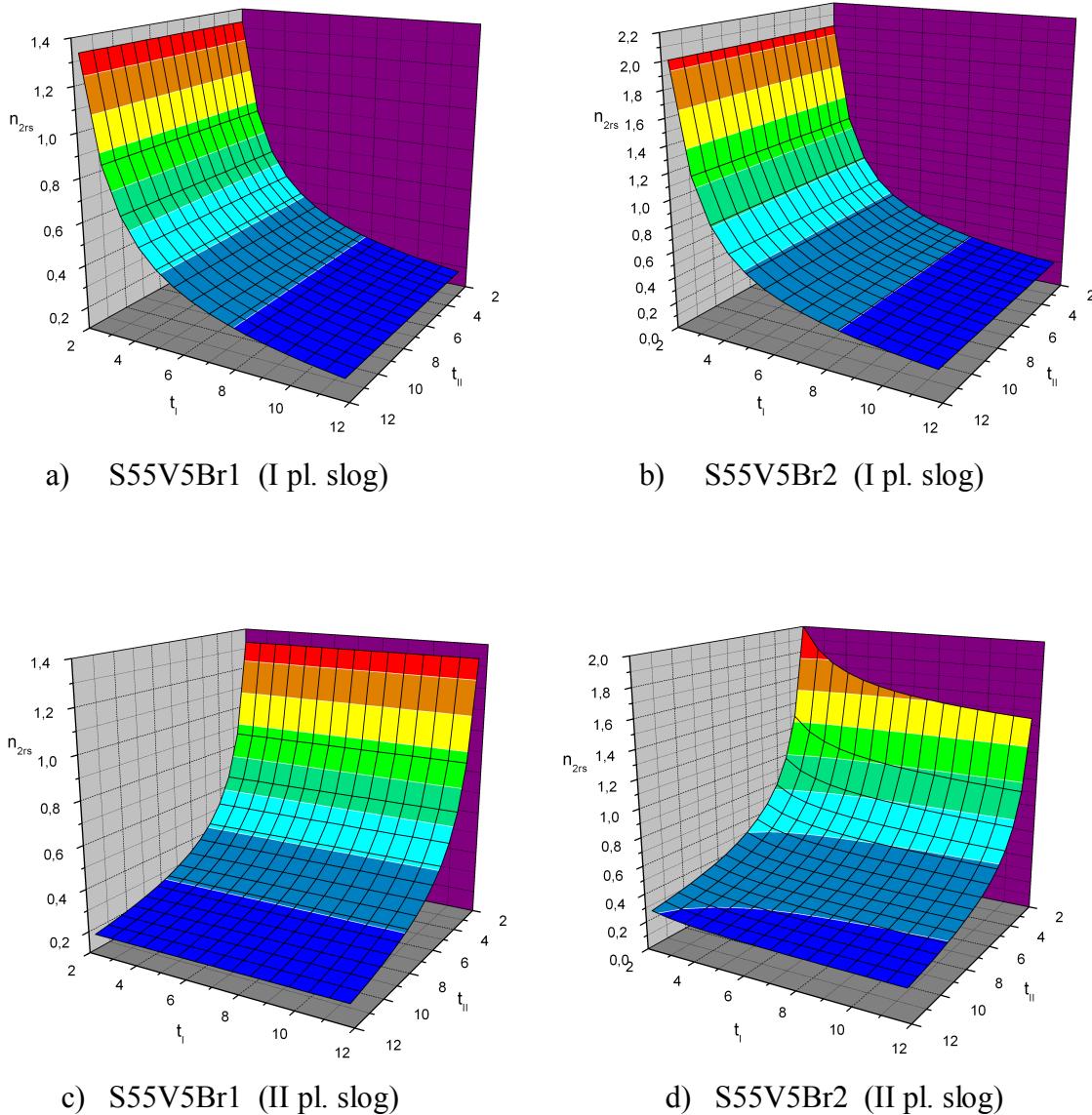
Nakon uvrštavanja prijenosnog omjera kao funkcije idealnih momentnih omjera (6.2.4) u (6.2.3) dobije se ovisnost specifične relativne brzine satelita na drugom planetnom slogu kod rada u brzini Br2 o idealnim momentnim omjerima planetnih slogova  $t_I$  i  $t_{II}$ :

$$n_{2rs_{II}Br_2} = \frac{2}{t_{II}-1} \cdot \frac{t_{II} + t_I t_{II}}{t_I + t_I t_{II}} \quad (6.2.5)$$

Na sličan način se može doći do funkcije specifične relativne brzine vrtnje satelita proizvoljnog planetnog sloga proizvoljne varijante pri radu u proizvoljnoj brzini.

U sklopu ovog rada je razvijen programski sustav pomoću kojega se između ostalog može kod svake varijante pretvarača prikazati ovisnost specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita o idealnim momentnim omjerima. Naime, programski sustav generira veliki skup podataka koji se može prikazati tablično ili grafički i naknadno istraživati.

Na sl. 6.2.2 su kao primjer prikazani grafovi specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita kod varijante S55V5 i to za oba planetna sloga u obje brzine.



Sl. 6.2.2 Specifične relativne brzine vrtnje satelita kod varijante S55V5

U cilju analize varijanti pretvarača korisno je poznavati intervale u kojima se može naći specifična relativna brzina vrtnje satelita. Važno je znati kod kojih varijanti u kojim planetnim slogovima su sateliti opterećeni i mogu imati relativno brzu rotaciju. Kod tih varijanti uvek treba izračunom provjeriti kolika je specifična relativna brzina vrtnje satelita.

Pomoću razvijenog programskog sustava su za većinu varijanti dvovodilnih planetnih pretvarača određene donja i gornja granica intervala unutar kojih se nalaze specifične relativne brzina vrtnje satelita oba planetna sloga uz aktivnu jednu i drugu kočnicu. Određivanje tih granica se provodilo uz promjenu vrijednosti idealnih momentnih omjera u intervalu od 2 do 12.

Budući da je za praktičnu primjenu režim multiplikacije manje zanimljiv od režima redukcije iz razmatranja su izostavljene varijante planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu koje u brzini Br2 ostvaruju multiplikaciju.

U skupini pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima su razmatrane sve varijante. Također su razmatrane sve varijante planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima. Rezultati su navedeni u Tab. 6.2.2, Tab. 6.2.3, Tab. 6.2.4, Tab. 6.2.5 i Tab. 6.2.6. Navedeni rezultati uz poznavanje brzine vrtnje ulaznog vratila omogućuju identifikaciju varijanti pretvarača kod kojih postoji realna opasnost prekoračenja prihvatljive relativne brzine vrtnje satelita.

Deblje tiskano su istaknute ekstremne absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita planetnih slogova koji rade pod opterećenjem (ne rade samo u praznom hodu).

Na osnovu preporuke iz [1] koja kaže da absolutne vrijednosti relativnih brzina vrtnje ne bi smjele prelaziti  $12000 \text{ min}^{-1}$  i uz pretpostavku da pogonski stroj ima brzinu vrtnje  $3000 \text{ min}^{-1}$  može se kao primjer usvojiti granična vrijednost prihvatljive specifične relativne brzine vrtnje satelita  $n_{2rs}$ . Prema navedenim podacima ona je jednaka četiri. Vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita koje su veće od četiri u tablicama su istaknute crvenom bojom kako bi se ukazalo na eventualnu opasnost od prevelike relativne brzine vrtnje satelita kod određenih planetnih slogova u određenim brzinama nekih varijanti. Naravno, brzina pogonskog stroja ne mora biti  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Ona može biti manja ili veća. U tom slučaju vrijednost granične prihvatljive specifične relativne brzine satelita može biti veća ili manja od četiri.

**Tab. 6.2.2 Ekstremne absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Oznaka	$n_{2rsI}Br1$		Oznaka	$n_{2rsII}Br1$		Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	
	$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$
	min	max		min	max		min	max
S11V4	2,18	4	S11V5	2,18	4	S12V2	<b>0,18</b>	<b>2</b>
	<b>2,18</b>	<b>4</b>		<b>2,18</b>	<b>4</b>		0,18	2
	<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,09</b>	<b>0,8</b>
	<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,09</b>	<b>0,8</b>
S12V3	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S13V2	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S13V3	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>
	0,16	1,33		0,01	1		0,01	0,66
	<b>0,09</b>	<b>0,8</b>		<b>0,18</b>	<b>2,66</b>		<b>0,18</b>	<b>2,66</b>
	<b>0,09</b>	<b>0,8</b>		<b>0,01</b>	<b>1,33</b>		<b>0,01</b>	<b>1,33</b>
S13V4	2,18	4	S13V5	2,18	4	S14V2	<b>0,18</b>	<b>2</b>
	<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		0,01	1
	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,16</b>	<b>1,3</b>
	<b>0,01</b>	<b>0,66</b>		<b>0,01</b>	<b>1</b>		<b>0,01</b>	<b>0,57</b>
S14V3	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S14V10	1,45	3,69	S14V11	<b>4,36</b>	<b>48</b>
	0,01	0,66		<b>0,16</b>	<b>1,33</b>		<b>2,18</b>	<b>4</b>
	<b>0,16</b>	<b>1,3</b>		<b>0,16</b>	<b>1,3</b>		<b>0,16</b>	<b>1,3</b>
	<b>0,01</b>	<b>0,57</b>		<b>0,01</b>	<b>0,57</b>		<b>0,01</b>	<b>0,57</b>

Napomena:

Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4.

Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.

**Tab. 6.2.2 (nastavak) Ekstremne absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Oznaka	$n_{2rsI}Br1$		Oznaka	$n_{2rsII}Br1$		Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	
	$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$
	min	max		min	max		min	max
S15V2	<b>0,18</b> 0,01	<b>2</b> 0,66	S15V3	<b>0,16</b> 0,01	<b>1,33</b> 0,44	S15V4	<b>2,18</b> 0,16	<b>4</b> 1,33
	<b>0,16</b> 0,01	<b>1,5</b> 0,5		<b>0,16</b> 0,01	<b>1,5</b> 0,5		<b>0,16</b> 0,01	<b>1,33</b> 0,44
	<b>6,54</b> <b>2,18</b>	<b>52</b> <b>4</b>		<b>0,18</b> 0,01	<b>2</b> 0,66		<b>0,16</b> 0,01	<b>1,33</b> 0,44
	<b>0,17</b> <b>0,01</b>	<b>1,5</b> <b>0,5</b>		<b>0,17</b> <b>0,01</b>	<b>1,92</b> <b>0,57</b>		<b>0,17</b> <b>0,01</b>	<b>1,92</b> <b>0,57</b>
S16V4	2,18 <b>0,16</b>	4 <b>1,33</b>	S16V11	2,36 <b>0,18</b>	6 <b>2</b>	S33V4	0,18 <b>0,18</b>	2 <b>2</b>
	<b>0,16</b> <b>0,01</b>	<b>1,33</b> <b>0,44</b>		<b>0,18</b> <b>0,01</b>	<b>1,92</b> <b>0,57</b>		<b>0,17</b> <b>0,12</b>	<b>1,33</b> <b>1,84</b>
	<b>0,18</b> <b>2,18</b>	<b>2</b> <b>4</b>		<b>2,18</b> <b>0,11</b>	<b>4</b> <b>1,26</b>		<b>0,17</b> <b>0,11</b>	<b>1,33</b> <b>1,26</b>
	<b>0,36</b> <b>0,36</b>	<b>24</b> <b>24</b>		<b>0,11</b> <b>0,11</b>	<b>1,26</b> <b>1,26</b>		<b>0,12</b> <b>0,11</b>	<b>1,84</b> <b>1,26</b>
Napomena: Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4. Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.								

**Tab. 6.2.2 (nastavak) Ekstremne apsolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Oznaka	$n_{2rsI Br1}$		Oznaka	$n_{2rsI Br1}$		Oznaka	$n_{2rsI Br1}$	
	$n_{2rsII Br1}$	$n_{2rsI Br2}$		$n_{2rsII Br1}$	$n_{2rsI Br2}$		$n_{2rsII Br1}$	$n_{2rsI Br2}$
	min	max		min	max		min	max
S35V2	<b>2,18</b> 0,33	<b>4</b> <b>16</b>	S35V3	<b>0,16</b> 0,11	<b>1,33</b> 1,23	S35V4	0,18 <b>0,16</b> <b>0,16</b> <b>0,11</b>	2 <b>1,33</b> <b>1,33</b> <b>1,23</b>
	<b>0,18</b>	<b>1,71</b>		<b>0,18</b>	<b>1,71</b>			
	<b>0,11</b>	<b>1,77</b>		<b>0,11</b>	<b>1,77</b>			
S35V11	0,54	<b>26</b>	S36V3	<b>0,16</b> 0,11	<b>1,33</b> 1,23	S36V4	0,18 <b>0,16</b> <b>0,16</b> <b>0,11</b>	2 <b>1,33</b> <b>1,33</b> <b>1,23</b>
	<b>2,18</b>	<b>4</b>		<b>0,43</b>	<b>3,46</b>			
	<b>0,18</b>	<b>1,71</b>		<b>0,29</b>	<b>3,2</b>			
	<b>0,12</b>	<b>1,78</b>						
S36V8	<b>0,18</b> 0,17	<b>2</b> 1,33	S36V11	0,2	3	S55V4	0,16 <b>0,16</b> <b>2,18</b> <b>0,50</b>	1,33 <b>1,33</b> 4 <b>17,3</b>
	<b>0,2</b>	<b>3</b>		<b>0,18</b> <b>0,43</b>	<b>2</b> <b>3,46</b>			
	<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,29</b>	<b>3,2</b>			
S55V5	0,16	1,33	S56V3	<b>2,18</b> 0,50	<b>4</b> <b>17,3</b>	S56V5	0,16 <b>0,16</b> <b>0,18</b> <b>0,18</b>	1,33 <b>1,33</b> 2 2
	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>		<b>0,2</b>	<b>4</b>			
	<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,2</b>	<b>4</b>			
	<b>0,18</b>	<b>2</b>						

Napomena:

Crvenom bojom su istaknute apsolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4.

Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.

**Tab. 6.2.3 Ekstremne absolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V1**

Oznaka	$n_{2rsI}Br1$		Oznaka	$n_{2rsII}Br1$		Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	
	$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$
	min	max		min	max		min	max
S11V1	<b>0,18</b>	2	S12V1	<b>0,18</b>	2	S13V1	<b>0,18</b>	2
	<b>0,18</b>	2		<b>0,18</b>	2		<b>0,01</b>	1
	<b>0,17</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33
	<b>0,17</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33		<b>0,01</b>	<b>0,67</b>
S14V1	<b>0,18</b>	2	S15V1	<b>0,18</b>	2	S16V1	<b>0,18</b>	2
	<b>0,01</b>	1		<b>0,01</b>	<b>0,66</b>		<b>0,01</b>	<b>0,66</b>
	<b>0,16</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33
	<b>0,01</b>	<b>0,66</b>		<b>0,01</b>	<b>0,44</b>		<b>0,01</b>	<b>0,44</b>
S33V1	<b>2,18</b>	4	S34V1	<b>2,18</b>	4	S35V1	<b>2,18</b>	4
	<b>0,36</b>	<b>24</b>		<b>0,36</b>	<b>24</b>		<b>0,33</b>	<b>16</b>
	<b>0,16</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33		<b>0,16</b>	1,33
	<b>0,12</b>	1,84		<b>0,12</b>	1,84		<b>0,11</b>	1,23
S36V1	<b>2,18</b>	4	S55V1	<b>0,18</b>	2	S56V1	<b>0,18</b>	2
	<b>0,33</b>	<b>16</b>		<b>0,18</b>	2		<b>0,18</b>	2
	<b>0,16</b>	1,33		<b>2,18</b>	4		<b>2,18</b>	4
	<b>0,11</b>	1,23		<b>0,50</b>	<b>17,3</b>		<b>0,5</b>	<b>17,3</b>

Napomena:

Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4.

Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.

**Tab. 6.2.4 Ekstremne absolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V7**

Oznaka	$n_{2rs\text{I}Br1}$		Oznaka	$n_{2rs\text{I}Br1}$		Oznaka	$n_{2rs\text{I}Br1}$	
	$n_{2rs\text{II}Br1}$	$n_{2rs\text{II}Br2}$		$n_{2rs\text{I}Br2}$	$n_{2rs\text{II}Br2}$		$n_{2rs\text{II}Br2}$	$n_{2rs\text{II}Br2}$
	min	max		min	max		min	max
S11V7	<b>0,18</b>	2	S12V7	<b>0,17</b>	<b>1,33</b>	S13V7	<b>4,36</b>	<b>48</b>
	<b>0,18</b>	2		<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>2,18</b>	4
	<b>0,17</b>	1,33		<b>0,18</b>	2		<b>1,45</b>	<b>3,69</b>
	<b>0,17</b>	1,33		<b>0,18</b>	2		<b>0,17</b>	1,33
S14V7	<b>1,45</b>	<b>3,69</b>	S15V7	<b>2,36</b>	6	S16V7	<b>6,54</b>	<b>52</b>
	<b>0,17</b>	1,33		<b>0,18</b>	2		<b>2,18</b>	4
	<b>4,36</b>	<b>48</b>		<b>6,54</b>	<b>52</b>		<b>2,36</b>	6
	<b>2,18</b>	4		<b>2,18</b>	4		<b>0,18</b>	2
S33V7	<b>0,36</b>	<b>24</b>	S34V7	<b>0,12</b>	<b>1,85</b>	S35V7	<b>0,20</b>	3
	<b>2,18</b>	4		<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	2
	<b>0,12</b>	<b>1,85</b>		<b>0,36</b>	<b>24</b>		<b>0,55</b>	<b>26</b>
	<b>0,17</b>	1,33		<b>2,18</b>	4		<b>2,18</b>	4
S36V7	<b>0,55</b>	<b>26</b>	S55V7	<b>0,18</b>	2	S56V7	<b>0,50</b>	<b>17</b>
	<b>2,18</b>	4		<b>0,18</b>	2		<b>2,18</b>	4
	<b>0,20</b>	3		<b>0,50</b>	<b>17</b>		<b>0,18</b>	2
	<b>0,18</b>	2		<b>2,18</b>	4		<b>0,18</b>	2

Napomena:

Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4.

Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.

**Tab. 6.2.5 Ekstremne absolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V6**

Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	Oznaka	$n_{2rsI}Br1$				
	$n_{2rsII}Br1$		$n_{2rsII}Br1$		$n_{2rsII}Br1$				
	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsI}Br2$				
	$n_{2rsII}Br2$		$n_{2rsII}Br2$		$n_{2rsII}Br2$				
	min		min		min				
	max		max		max				
S11V6	<b>0,17</b>	<b>1,33</b>	S12V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S13V6	<b>0,16</b>		
	0,17	1,33		0,16	1,33		0,01		
	0,17	1,33		0,18	2		1,45		
	<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,16</b>		
S14V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S15V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S16V6	<b>0,16</b>		
	0,01	0,66		0,01	0,44		0,01		
	<b>4,36</b>	<b>48</b>		<b>6,54</b>	<b>52</b>		<b>2,36</b>		
	<b>2,18</b>	4		<b>2,18</b>	4		<b>6</b>		
S33V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S34V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S35V6	<b>0,16</b>		
	0,12	1,84		0,12	1,84		0,11		
	0,12	1,84		0,36	<b>24</b>		1,23		
	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>		<b>2,18</b>	4		<b>0,54</b>		
S36V6	<b>0,16</b>	<b>1,33</b>	S55V6	<b>2,18</b>	4	S56V6	<b>2,18</b>		
	0,11	1,23		0,50	<b>17,3</b>		0,50		
	0,19	3		0,50	<b>17,3</b>		0,181		
	<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>2,18</b>	4		<b>2</b>		
Napomena:									
Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4.									
Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.									

**Tab. 6.2.6 Ekstremne absolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V12**

Oznaka	$n_{2rsI}Br1$		Oznaka	$n_{2rsII}Br1$		Oznaka	$n_{2rsI}Br1$	
	$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$		$n_{2rsII}Br1$	$n_{2rsI}Br2$
	min	max		min	max		min	max
S11V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S12V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S13V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>
	0,18	2		0,18	2		0,02	1
	0,18	2		0,17	1,33		<b>4,36</b>	<b>48</b>
	<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>0,17</b>	<b>1,33</b>		<b>2,18</b>	<b>4</b>
S14V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S15V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S16V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>
	0,02	2		0,01	0,67		0,14	0,66
	1,45	3,69		2,36	<b>6</b>		<b>6,54</b>	<b>52</b>
	<b>1,67</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>2,18</b>	<b>4</b>
S33V12	<b>2,18</b>	<b>4</b>	S34V12	<b>2,18</b>	<b>4</b>	S35V12	<b>2,18</b>	<b>4</b>
	0,36	<b>24</b>		0,36	<b>24</b>		0,33	<b>16</b>
	0,36	<b>24</b>		0,12	1,85		0,20	3
	<b>2,18</b>	<b>4</b>		<b>0,16</b>	<b>1,33</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>
S36V12	<b>2,18</b>	<b>4</b>	S55V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>	S56V12	<b>0,18</b>	<b>2</b>
	0,33	16		0,18	2		0,18	2
	0,54	26		0,18	2		0,50	<b>17,33</b>
	<b>2,18</b>	<b>4</b>		<b>0,18</b>	<b>2</b>		<b>2,18</b>	<b>4</b>
Napomena: Crvenom bojom su istaknute absolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita veće od 4. Deblje tiskane vrijednosti ukazuju na vrtnju satelita pod opterećenjem.								

Za svaku razmatranu varijantu pretvarača su za oba planetna sloga u tablicama navedene minimalna i maksimalna moguća absolutna vrijednost specifične relativne brzine vrtnje satelita u obje brzine.

Crvenom bojom su napisane varijante pretvarača kod kojih su moguće povećane relativne brzine vrtnje satelita ( $n_{2rs} > 4$ ) pri određenim kombinacijama idealnih momentnih omjera planetnih slogova.

Analizom Tab. 6.2.2 se može zaključiti da se kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu, koji u brzini Br2 rade pretežno u reduktorskom režimu rada, povećane specifične relativne brzine vrtnje satelita mogu pojaviti samo kod neopterećenih planetnih slogova u brzini Br1. U brzini Br2 se povećane specifične brzine vrtnje satelita uz opterećene planetne slogove mogu pojaviti samo kod varijanti S33V5 i S55V4.

Analizom Tab. 6.2.3 i Tab. 6.2.4 se može zaključiti da su kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na oba spojna vratila u obje brzine planetni slogovi opterećeni. Specifične relativne brzine vrtnje satelita kod nekih varijanti uz određene idealne momentne omjere mogu postati znatno visoke pa kod takvih varijanti treba biti oprezan.

Analizom Tab. 6.2.5 i Tab. 6.2.6 se može zaključiti je da u okviru varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima postoje neke varijante kod kojih se mogu pojaviti neprihvatljive specifične relativne brzine vrtnje satelita, ali samo na planetnim slogovima koji rade u praznom hodu tj. neopterećeni.



## 7. DIMENZIJE PLANETNOG PRETVARAČA

### 7.1 Dimenzioniranje planetnih slogova

Od velike je važnosti da konstruktor u ranoj fazi osnivanja planetnog pretvarača ima bar orijentacijsku predstavu o dimenzijama planetnih slogova pretvarača. Moguće je da se kinematički zahtjevi na pretvarač mogu ostvariti s više različitih varijanti pretvarača pa se stoga između njih treba izabrati optimalna varijanta. Važan kriterij kod izbora optimalne varijante pretvarača su najčešće radikalne dimenzije i masa pretvarača. Masa i dimenzije su usko povezani s cijenom pretvarača pa se tako izborom varijante pretvarača čiji su planetni slogovi relativno manjih dimenzija često postiže ušteda.

Planetni pretvarači se odlikuju velikim stupnjem kompaktnosti. Svi zupčanici planetnog sloga su smješteni unutar vijenca. Stoga je diobeni promjer vijenca dobar pokazatelj veličine planetnog sloga i može se prihvati kao kriterij za gabarit kod usporedne analize radikalnih dimenzija planetnih slogova [2, 11].

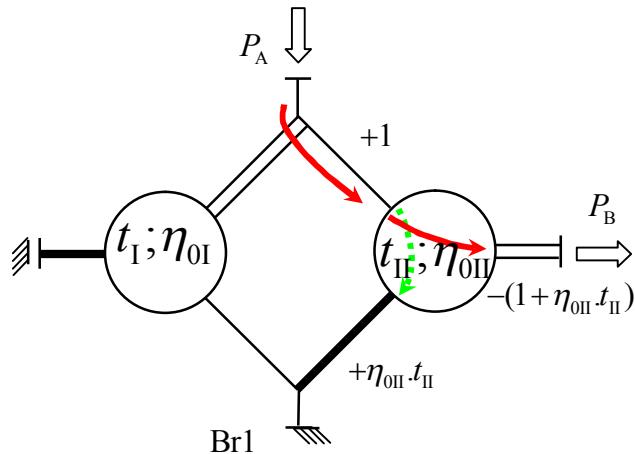
Diobeni promjer vijenca  $d_3$  se može izraziti preko diobenog promjera sunčanog zupčanika  $d_1$  i idealnog momentnog omjera  $t$ . U poglavlju 2.10 su dati izrazi koji omogućuju procjenu gabarita planetnih slogova.

### 7.2 Momenți na sunčanim zupčanicima

Iz izraza (2.10.3) i (2.10.9) se vidi da se za određivanje modula ozubljenja treba poznavati moment na sunčanom zupčaniku  $T_1$ . Na osnovu napravljene strukturne analize (analize momenata) u Prilogu 1, se može izraziti moment na sunčanom zupčaniku kod svih varijanti za oba planetna sloga u obje brzine kao funkciju idealnih momentnih omjera  $t_1$  i  $t_{II}$ .

Nakon određivanja relativnih momenata na svim vratilima izvršeno je dijeljenje relativnih momenata na sunčanim zupčanicima s relativnim momentom na ulazu. Na taj način su dobiveni specifični relativni momenti na sunčanim zupčanicima. Specifični relativni moment na sunčanom zupčaniku predstavlja moment kojim je opterećeno vratilo sunčanog zupčanika kada je ulazno vratilo opterećeno s momentom  $T_A=1$ . Umnožak specifičnog relativnog momenta na sunčanom zupčaniku s vrijednošću momenta na ulazu  $T_A$  daje vrijednost momenta na sunčanom zupčaniku.

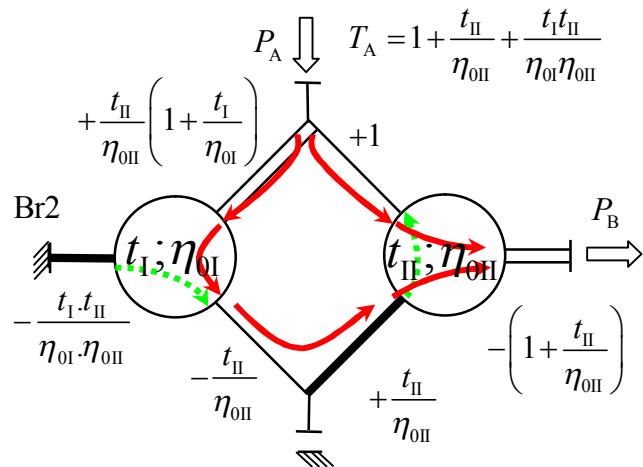
Na sl. 7.2.1 je prikazano određivanje momenata na vratilima sunčanih zupčanika planetnog pretvarača varijante S35V5 pri radu s uključenom kočnicom Br1, a na sl. 7.2.2 je prikazano određivanje momenata na vratilima sunčanih zupčanika pri radu s uključenom kočnicom Br2.



$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

Sl. 7.2.1 Određivanje momenata na sunčanim zupčanicima planetnih slogova kod varijante S35V5 pri radu s uključenom kočnicom Br1



$$T_{II} = T_A \frac{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I t_{II}}{\eta_{0I} \eta_{0II}}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I t_{II}}{\eta_{0I} \eta_{0II}}}$$

Sl. 7.2.2 Određivanje momenata na sunčanim zupčanicima planetnih slogova kod varijante S35V5 pri radu s uključenom kočnicom Br2

Na ovaj način se mogu izraziti momenti na sunčanim zupčanicima kod svih varijanti dvovodilnih planetnih pretvarača. Izrazi za određivanje momenata na sunčanim zupčanicima za sve varijante pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu koje u brzini Br2 rade pretežno kao reduktori su navedeni u Tab. 7.2.1. U Tab. 7.2.2 i Tab. 7.2.3 su navedeni izrazi za određivanje momenata na sunčanim zupčanicima kod svih varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima. U Tab. 7.2.4. su navedeni izrazi za određivanje momenata na sunčanim zupčanicima kod svih varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima.

**Tab. 7.2.1 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$	$T_I/T_A$	$T_{III}/T_A$
S11V4	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{1 + \eta_{0II}t_{II}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} - \eta_{0II}t_{II}}$ $\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I}t_1 - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$t_1 > t_{II}$ $\frac{1 + \frac{t_1}{\eta_{0I}}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} - \eta_{0II}t_{II}}$ $t_1 < t_{II}$ $\frac{1 + \eta_{0I}t_1}{\eta_{0I}t_1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S11V5	0	$\frac{1}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{\eta_{0II}t_{II}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} - \eta_{0II}t_{II}}$ $\frac{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I}t_1 - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$t_1 > t_{II}$ $\frac{t_1}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} - \eta_{0II}t_{II}}$ $t_1 < t_{II}$ $\frac{\eta_{0I}t_1}{\eta_{0I}t_1 - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S12V2	1	0	1	$\frac{\eta_{0II}(1 + \eta_{0I}t_1)}{t_{II}}$
S12V3	1	0	1	$\frac{\eta_{0I}t_1}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S13V2	1	0	1	$\frac{1 + \eta_{0I}t_1}{1 + \eta_{0II}t_{II}}$
13V3	1	0	1	$\eta_{0I}t_1$
S13V4	0	1	$\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$	$\frac{1 + \frac{t_1}{\eta_{0I}}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$
S13V5	0	$\frac{1}{1 + \eta_{0II}t_{II}}$	$\frac{1}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$	$\frac{t_1}{\frac{t_1}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$
S14V2	1	0	1	$1 + \eta_{0I}t_1$
S14V3	1	0	1	$\frac{\eta_{0I}t_1}{1 + \eta_{0II}t_{II}}$
S14V10	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{1}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_1}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$

**Tab. 7.2.1 (nastavak) Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{I}\text{II}}/T_A$	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{I}\text{II}}/T_A$
S14V11	0	$\frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}$	$1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} \frac{t_{\text{I}}}{t_{\text{II}}} \frac{1}{\eta_{0\text{I}} \eta_{0\text{II}}}$	$\frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}$
S15V2	1	0	1	$1 + \eta_{0\text{I}} t_{\text{I}}$
S15V3	1	0	1	$\frac{\eta_{0\text{I}} \eta_{0\text{II}} t_{\text{I}}}{t_{\text{II}}}$
S15V4	0	$\frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$1 + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}$
S15V11	0	$\frac{1}{1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{\eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}}{\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}}$	$1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}$
S16V2	1	0	1	$\frac{\eta_{0\text{II}} (1 + \eta_{0\text{I}} t_{\text{I}})}{t_{\text{II}}}$
S16V3	1	0	1	$\eta_{0\text{I}} t_{\text{I}}$
S16V4	0	1	$\frac{t_{\text{II}} \eta_{0\text{II}}}{\left( 1 + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}} \right)}$	$1 + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}$
S16V11	0	$\frac{1}{1 + \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} + \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}} \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{1}{1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$
S33V4	0	1	$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}{\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} - \eta_{0\text{I}} t_{\text{I}}}$	$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1 + \eta_{0\text{I}} t_{\text{I}}}{\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} - \eta_{0\text{I}} t_{\text{I}}}$
			$t_{\text{I}} > t_{\text{II}}$ $\frac{1 + \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}} t_{\text{II}} - \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}}$	$t_{\text{I}} > t_{\text{II}}$ $\frac{1 + \eta_{0\text{II}} t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}} t_{\text{II}} - \frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}}$

**Tab. 7.2.1 (nastavak) Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{III}}/T_A$	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{III}}/T_A$
S33V5	0	$\frac{1}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1}{\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}-\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}}$	$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1}{\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}-\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}}$
			$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1}{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}-\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}}$	$t_{\text{I}} < t_{\text{II}}$ $\frac{1}{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}-\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}}$
S34V2	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	0	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	$1+\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}$ $\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}$
S34V3	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	0	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	$\frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{I}}(1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{II}})}$
S35V2	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	0	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	$1+\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}$ $\frac{t_{\text{I}}}{\eta_{0\text{I}}}$
S35V3	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	0	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	$\frac{\eta_{0\text{I}}\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{I}}t_{\text{II}}}$
S35V4	0	$\frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$
S35V11	0	$\frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$
S36V3	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	0	$T_{\text{II}} = T_{\text{III}} = \frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$	$T_{\text{II}} = T_{\text{III}} = \frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}}$
S36V4	0	1	$\frac{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$\frac{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}}{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$
S36V8	1	0	$\frac{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$\frac{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{1+\eta_{0\text{I}}t_{\text{I}}+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$
S36V11	0	$\frac{1}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$T_{\text{II}} = T_{\text{III}} = \frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$T_{\text{II}} = T_{\text{III}} = \frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$

**Tab. 7.2.1 (nastavak) Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$
S55V4	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$t_I < t_{II}$ $\frac{1}{\eta_{0I}t_I - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$ $t_I > t_{II}$ $\frac{1}{\frac{t_I}{\eta_{0I}} - \eta_{0II}t_{II}}$	$T_{III} = T_{II}$
S55V5	0	1	$t_I < t_{II}$ $\frac{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - \eta_{0I}t_I}$ $t_I > t_{II}$ $\frac{\eta_{0II}t_{II}}{\eta_{0II}t_{II} - \frac{t_I}{\eta_{0I}}}$	$t_I < t_{II}$ $\frac{\eta_{0I}t_I}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - \eta_{0I}t_I}$ $t_I > t_{II}$ $\frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}}}{\eta_{0II}t_{II} - \frac{t_I}{\eta_{0I}}}$
S56V3	$\frac{1}{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}}}$	0	$\frac{1}{1 + \eta_{0I}t_I}$	$\frac{\eta_{0I}t_I}{1 + \eta_{0I}t_I}$
S56V5	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{1}{\frac{t_I}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$	$\frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}}}{\frac{t_I}{\eta_{0I}} \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}$

**Tab. 7.2.2 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s varijantom razmještaja V1**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$
S11V1	1	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}t_1}{t_{II}}$	1	$\frac{1+\eta_{0I}t_1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S12V1	1	$\frac{\eta_{0I}t_1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	1	$\frac{1+\eta_{0I}t_1}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S13V1	1	$\eta_{0I}t_1$	1	$\frac{1+\eta_{0I}t_1}{1+\eta_{0II}t_{II}}$
S14V1	1	$\frac{\eta_{0I}t_1}{1+\eta_{0II}t_{II}}$	1	$1+\eta_{0I}t_1$
S15V1	1	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}t_1}{t_{II}}$	1	$1+\eta_{0I}t_1$
S16V1	1	$\eta_{0I}t_1$	1	$\frac{\eta_{0II}(1+\eta_{0I}t_1)}{t_{II}}$
S33V1	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}}(1+\eta_{0II}t_{II})}$
S34V1	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1(1+\eta_{0II}t_{II})}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{1+\eta_{0I}t_1}{\eta_{0I}t_1}$
S35V1	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}}{t_1t_{II}}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}{\frac{t_1}{\eta_{0I}}}$
S36V1	$T_{II} = T_{III} = \frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$T_{II} = T_{III} = \frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}}{t_1}$	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}\left(1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}\right)}{t_1t_{II}}$
S55V1	$\frac{1}{1+\eta_{0I}t_1}$	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}t_1}{t_{II}(1+\eta_{0I}t_1)}$	$T_{II} = T_{III} = \frac{1}{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}$	$T_{III} = T_{II} = \frac{1}{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}$
S56V1	$\frac{1}{1+\eta_{0I}t_1}$	$\frac{\eta_{0I}t_1}{1+\eta_{0I}t_1}$	$\frac{1}{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}\left(1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}\right)}$

**Tab. 7.2.3 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s varijantom razmještaja V7**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$
S11V7	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}t_{II}}{t_I}$	1	$\frac{1+\eta_{0II}t_{II}}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}}$	1
S12V7	$\frac{\eta_{0I}(1+\eta_{0II}t_{II})}{t_I}$	1	$\frac{\eta_{0II}t_{II}}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}}$	1
S13V7	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}}{t_I t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}{t_{II}\left(1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}\right)}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$
S14V7	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}{t_I t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}\left(1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}\right)}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$
S15V7	$\frac{\eta_{0I}\eta_{0II}t_{II}}{t_I(1+\eta_{0II}t_{II})}$	$\frac{1}{1+\eta_{0II}t_{II}}$	$\frac{1}{\left(1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}\right)\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S16V7	$\frac{\eta_{0I}}{t_I\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{\eta_{0II}t_{II}}{\left(1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}\right)(1+\eta_{0II}t_{II})}$	$\frac{1}{1+\eta_{0II}t_{II}}$
S33V7	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}{t_{II}(1+\eta_{0I}t_I)}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$
S34V7	$\frac{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}(1+\eta_{0I}t_I)}$	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}$
S35V7	$\frac{\eta_{0II}t_{II}}{1+\eta_{0II}t_{II}}$	$\frac{1}{1+\eta_{0II}t_{II}}$	$\frac{1}{(1+\eta_{0I}t_I)\left(1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right)}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$
S36V7	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$	$\frac{\eta_{0II}t_{II}}{(1+\eta_{0I}t_I)(1+\eta_{0II}t_{II})}$	$\frac{1}{1+\eta_{0I}t_{II}}$

**Tab. 7.2.3 (nastavak) Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s varijantom razmještaja V7**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{III}}/T_A$	$T_{\text{II}}/T_A$	$T_{\text{III}}/T_A$
S55V7	$\frac{\eta_{0\text{I}}\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{t_{\text{I}}(1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}})}$	$\frac{1}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$
S56V7	$\frac{\eta_{0\text{I}}}{t_{\text{I}}\left(1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}\right)}$	$\frac{1}{1+\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}}}$	$\frac{\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$	$\frac{1}{1+\eta_{0\text{II}}t_{\text{II}}}$

**Tab. 7.2.4 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima pretvarača s kočnicama na zasebnim vratilima**

Varijanta pretvarača	Br1		Br2	
	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$	$T_{II}/T_A$	$T_{III}/T_A$
S11V6 (S11V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0II}t_{II}} \right)$
S12V6 (S12V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$\frac{1}{1+\eta_{0II}t_{II}}, \left( \frac{\eta_{0II}}{t_{II}} \right)$
S13V6 (S13V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}} \right)$
S14V6 (S14V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}, (1)$
S15V6 (S15V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}, (1)$
S16V6 (S16V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, \left( \frac{1}{1+\eta_{0I}t_I} \right)$	0	0	$1, \left( \frac{\eta_{0II}}{t_{II}} \right)$
S33V6 (S33V12)	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}} \right)$	0	0	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}} \right)$
S34V6 (S34V12)	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}} \right)$	0	0	$\frac{1}{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}, (1)$
S35V6 (S35V12)	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}} \right)$	0	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}, (1)$
S36V6 (S36V12)	$1, \left( \frac{1}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}} \right)$	0	0	$1, \left( \frac{\eta_{0II}}{t_{II}} \right)$
S55V6 (S55V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, (1)$	0	0	$\frac{\eta_{0II}}{t_{II}}, (1)$
S56V6 (S56V12)	$\frac{\eta_{0I}}{t_I}, (1)$	0	0	$1, \left( \frac{\eta_{0II}}{t_{II}} \right)$

U Tab. 7.2.1-7.2.4 su navedene funkcije specifičnih momenata na sunčanim zupčanicima. Argumenti funkcija su idealni momentni omjeri  $t_I$  i  $t_{II}$  te relativni stupnjevi iskoristivosti planetnih slogova  $\eta_{0I}$  i  $\eta_{0II}$ .

Analizom izraza iz Tab. 7.2.1 se dolazi do zaključka da je kod varijanti pretvarača S11V4, S11V5, S33V4, S33V5, S55V4 i S55V5 posebno važno pri bliskim vrijednostima idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$  uvrstiti što preciznije vrijednosti relativnih stupnjeva iskoristivosti jer je funkcija specifičnog momenta na sunčanom zupčaniku vrlo osjetljiva i na promjene relativnih stupnjeva iskoristivosti  $\eta_{0I}$  i  $\eta_{0II}$ .

Kod specifičnih momenata na sunčanim zupčanicima pretvarača s međusobno inverznim varijantama razmještaja V1 i V7 je ustanovljeno postojanje veza koje se mogu izraziti s (7.2.1), (7.2.2), (7.2.3) i (7.2.4).

$$\left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V7} = \left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V1} \cdot \frac{1}{|i_{(V1)}|} \quad (7.2.1)$$

$$\left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V7} = \left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V1} \cdot |i_{(V7)}| \quad (7.2.2)$$

$$\left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V7} = \left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V1} \cdot \frac{1}{|i_{(V1)}|} \quad (7.2.3)$$

$$\left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V7} = \left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V1} \cdot |i_{(V7)}| \quad (7.2.4)$$

pri čemu su:

$\left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V1}$  - apsolutna vrijednost specifičnog momenta sunčanog zupčanika planetnog sloga I kod pretvarača s varijantom razmještaja V1

$\left| \frac{T_I}{T_A} \right|_{V7}$  - apsolutna vrijednost specifičnog momenta sunčanog zupčanika planetnog sloga I kod pretvarača s varijantom razmještaja V7

$\left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V1}$  - apsolutna vrijednost specifičnog momenta sunčanog zupčanika planetnog sloga II kod pretvarača s varijantom razmještaja V1

$\left| \frac{T_{II}}{T_A} \right|_{V7}$  - apsolutna vrijednost specifičnog momenta sunčanog zupčanika planetnog sloga II kod pretvarača s varijantom razmještaja V7

$|i_{(V1)}|$  - apsolutna vrijednost kinematičkog prijenosnog omjera kod pretvarača s varijantom razmještaja V1

$|i_{(V7)}|$  - apsolutna vrijednost kinematičkog prijenosnog omjera kod pretvarača s varijantom razmještaja V7

U Tab. 7.2.4 su u zagradama navedeni specifični momenti na sunčanim zupčanicima za sve sheme s varijantom razmještaja V12.

Sistematisirani izrazi u Tab. 7.2.1-7.2.4 se mogu uspješno primjenjivati za određivanje momenata na vratilima sunčanih zupčanika pri određivanju diobenih promjera vijenaca planetnih slogova kod računalne usporedne analize varijanti pretvarača.

### 7.3 Momenți na reakcijskim članovima (kočnicama)

Pri osnivanju dvovodilnog pretvarača potrebno je adekvatno dimenzionirati i vratilo reakcijskog člana. U slučaju da se radi o pretvaraču s mogućnosti ostvarenja dvije brzine potrebno je konstruirati adekvatne kočnice. Relativni momenti na kočnicama se određuju na osnovu strukturne analize koja je napravljena u Prilogu 1 za šest različitih varijanti rasporeda kočnica kod svih strukturalnih shema. Na osnovu poznavanja momenata na kočnicama i polumjera diska na kojem se kočenje izvodi može se odrediti sila kočenja te prema njoj dimenzionirati kočnice. Ako postoji ograničenje sile kočenja onda se na osnovu poznavanja momenta može odrediti polumjer kočnog diska.

Ako su momeni na kočnicama relativno mali tada se izmjena prijenosnog omjera može izvesti s relativno manjom kočnicom. Iz tog je razloga važno znati kako utječe varijanta pretvarača i njeni parametri na momente na kočnicama.

Uvjet ravnoteže momenata na ulaznom vratilu  $T_A'$ , izlaznom vratilu  $T_B'$  i reaktivnom vratilu  $T_{Br}'$  se može izraziti preko (7.3.1):

$$T_A' + T_B' + T_{Br}' = 0 \quad (7.3.1)$$

Na osnovu (7.3.1) moment na reaktivnom vratilu (kočnici) je:

$$T_{Br}' = - (T_A' + T_B') \quad (7.3.2)$$

Njegova apsolutna vrijednost je:

$$|T_{Br}'| = |T_A' + T_B'| \quad (7.3.3)$$

Moment na izlazu  $T_B'$  se može izraziti preko (7.3.4):

$$T_B' = T_A' \cdot i_T \quad (7.3.4)$$

Energetski prijenosni  $i_T$  se može izraziti preko (7.3.5):

$$i_T = -i \cdot \eta \quad (7.3.5)$$

Na osnovu (7.3.3), (7.3.4) i (7.3.5) proizlazi (7.3.6):

$$|T_{Br}'| = |T_A' (1 - i \cdot \eta)| \quad (7.3.6)$$

Izraz (7.3.6) pokazuje ovisnost intenziteta momenata na reaktivnom članu (kočnici)  $|T_{Br}'|$  o momentu na ulazu  $T_A'$ , kinematičkom prijenosnom omjeru  $i$  te stupnju iskoristivosti  $\eta$ . Iz (7.3.6) se može zaključiti da uz zanemarivanje gubitaka momenti na kočnicama kod različitih varijanti uz različite idealne momentne omjere planetnih slogova pri jednakom ulaznom opterećenju i jednakom prijenosnom omjeru imaju jednaku vrijednost.



## 8. IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE I PARAMETARA DVOVODILNOG PRETVARAČA

### 8.1 Kriteriji pri optimalnom izboru

Analizom grafova mjenjačkih mogućnosti dvobrzinskih pretvarača (Prilog 2) se uviđa da nije rijedak slučaj da se dvobrzinski pogon, određen s dva prijenosna omjera, može ostvariti s dvije ili više različitih varijanti pretvarača. Svaka od tih varijanti ima svoje parametre planetnih slogova (idealne momentne omjere) s kojim se realiziraju postavljeni kinematički zahtjevi.

U slučaju da se umjesto dvobrzinskog pretvarača zahtijeva jednobrzinski, broj mogućih varijanti će vrlo vjerojatno biti još veći. Osim toga kod jednobrzinskog dvovodilnog pretvarača jedan prijenosni omjer je moguće realizirati s različitim kombinacijama idealnih momentnih omjera planetnih slogova u okviru jedne varijante.

Bez obzira traži li se pretvarač s jednim ili dva stupnja prijenosa (brzine) postavlja se pitanje, koja je od varijanti koje omogućuju ostvarenje kinematičkih zahtijeva najprikladnija za određeni slučaj i kakvi su njeni optimalni parametri.

U početnoj fazi osnivanja pretvarača je dovoljno razmatrati neke osnovne pokazatelje (kriterije) na osnovu kojih se može odrediti optimalna varijanta pretvarača s pripadnim parametrima.

Kod razmatranih planetnih pretvarača značajan pokazatelj kvalitete pretvarača je njegova radijalna gabaritna izmjera. Kao pokazatelj radijalne gabaritne izmjere pri usporednoj analizi različitih varijanti dvovodilnih pretvarača se može usvojiti veći od dvaju diobenih promjera vijenaca njegovih planetnih slogova sloga. Može se tvrditi s velikom vjerojatnosti da će pretvarač koji je izabran prema ovom pokazatelju skoro uvijek imati zupčanike minimalnog volumena i mase. Ako se nakon izbora optimalne varijante primijene ostale postojeće metode optimizacije, npr. metode optimizacije zahvata te ostalih elemenata prijenosnika, koje se odnose na konstruktivne i tehnološke kriterije [4, 35, 40, 41, 78, 79], može se smjelo tvrditi, da je dobivena najprikladnija varijanta.

Stupanj iskoristivosti je drugi važan pokazatelj (kriterij) koji treba razmatrati kod izbora najprikladnije varijante i njenih parametara. Kod mjenjačkih pretvarača svaka brzina ima svoj stupanj iskoristivosti. Kod njih se na osnovu pretpostavljene učestalosti rada u svakoj brzini uz poznati stupanj iskoristivosti svake od brzina može odrediti ekvivalentni stupanj iskoristivosti varijante.

Za određivanje varijanti i njihovih parametara koje mogu ostvariti postavljene kinematičke zahtjeve poželjno je koristiti računalo. Za izbor optimalne varijante i njenih optimalnih parametara prema nekom od kriterija primjena računala je gotovo nezaobilazna. Potrebno je razviti odgovarajući programski sustav koji će analizirati mogućnosti primjene svih postojećih varijanti za određene kinematičke zahtjeve. Nakon identificiranja skupa varijanti s pripadnim parametrima koje mogu ostvariti postavljene kinematičke zahtjeve programski sustav treba na osnovu izabranih kriterija predložiti najbolju varijantu odnosno generirati prioritetni popis varijanti. Ukoliko je potrebno iz skupa mogućih varijanti (s pripadnim parametrima) izabrati varijantu koja primjerice ima najveći stupanj iskoristivosti, računalo uspoređuje sve varijante s pripadnim parametrima s kojim se mogu ostvariti postavljeni kinematički zahtjevi i pronađi varijantu s parametrima kod kojih je stupanj iskoristivosti maksimalan. Isto je i kod pronađenja varijante s minimalnim gabaritima odnosno minimalnom masom zupčanika. Kada se kvaliteta konstrukcije ne može opisati samo s jednim kriterijem potrebno se osloniti na metode višekriterijske optimizacije. Kod višekriterijske optimizacije kvaliteta rješenja ovisi o više kriterija od kojih svaki ne mora biti jednak važan. U takvim slučajevima, ako se važnosti kriterija mogu izraziti kvantitativno, može se primijeniti metoda težinskih koeficijenata. Kod te metode svaki težinski koeficijent predstavlja važnost pojedinog kriterija.

U sklopu ovog rada je razvijen programski sustav koji omogućuje izbor optimalne varijante prema više kriterija.

## 8.2 Metodika iznalaženja najprihvatljivijih idealnih momentnih omjera

Na osnovu metode torzijskih momenata opisane u poglavlju 3. razvijen je modul programskog sustava s integriranom logikom koja omogućuje identifikaciju varijanti s parametrima koji mogu ostvariti postavljene kinematičke zahtjeve (kinematički prijenosni omjeri).

Programski sustav po redu provjerava sve varijante pretvarača. Kod svake varijante program generira skup uređenih parova idealnih momentnih omjera koji omogućuju realizaciju traženih prijenosnih omjera. Kod varijante kod koje nije moguće ostvarenje traženih prijenosnih omjera taj skup je prazan skup.

Granice intervala u kojim se nalaze idealni momentni omjeri  $t_I$  i  $t_{II}$  određuje korisnik. Maksimalni interval je određen konstrukcijskim ograničenjima i kod planetnih pretvarača čiji planetni sloganovi imaju tri satelita iznosi:

$$2 \leq t_{I\min} \leq t_I \leq t_{I\max} \leq 12$$

$$2 \leq t_{II\min} \leq t_{II} \leq t_{II\max} \leq 12$$

Za svaku moguću kombinaciju idealnih momentnih omjera se izračunava vrijednost prijenosnih omjera u obje brzine i provjerava se da li su dobivene vrijednosti u intervalu tolerancije traženih prijenosnih omjera. Zbog točnjeg određivanja stupnja iskoristivosti u daljnjoj fazi rada programa, korak povećanja idealnih momentnih omjera se ostvaruje uzimajući u obzir broj zubi zupčanika.

Iz tog razloga se u računalnom programu provodi slijedeća procedura za određivanje idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$ :

1. Zadavanje usvojenog broja zubi sunčanih zupčanika planetnih slogova  $z_{II}$  i

$$z_{III};$$

2. Određivanje minimalnog i maksimalnog broja zubi na vijencima

$$z_{3I\min} = -t_{I\min} \cdot z_{II},$$

$$z_{3II\min} = -t_{II\min} \cdot z_{III},$$

$$z_{3I\max} = -t_{I\max} \cdot z_{II},$$

$$z_{3II\max} = -t_{II\max} \cdot z_{III};$$

3. Određivanje trenutnih vrijednosti momentnih omjera  $t_I = \frac{|z_{3I}|}{z_{II}}$  i  $t_{II} = \frac{|z_{3II}|}{z_{III}}$

(početi od  $z_{3I\min}$  i  $z_{3II\min}$ );

4. Povećavanje broja zubi na vijencu jednog planetnog sloga (npr. prvog) za jedan Zub uz provjeru uvjeta sinteze planetnog sloga. Ako dobivena kombinacija brojeva zubi ne zadovoljava uvjet montaže idealni momentni omjer se ispušta iz razmatranja i broj zubi vijenca se dalje povećava za jedan Zub te se ponovo provodi provjera. Provjera na osnovu uvjeta sinteze planetnog sloga se opcijski može i izostaviti. Naime, poznato je da se planetni slog uz odgovarajuće konstrukcijske mjere može sklopiti i ako nisu zadovoljeni svi uvjeti sinteze (uvjet montaže) [67]. Povećanje broja zubi vijenca s korakom od jedan Zub se nastavlja sve dok se ne dostigne maksimalna dopuštena vrijednost (određena predhodno u t. 2);

5. Povećavanje broja zubi na vijencu drugog planetnog sloga za jedan zub, kada se ponovi ciklus za prvi planetni slog (t.3) sve dok se ne dostigne maksimalna dopuštena vrijednost (određena predhodno u t.2). I ovdje se po potrebi provjeravaju uvjeti sinteze planetnog sloga.

U okviru dvije petlje se kod svake varijante pretvarača određuju trenutne vrijednosti različitih parametara planetnih slogova ( $\eta_{0I}$ ,  $\eta_{0II}$ ,  $d_{3I}$ ,  $d_{3II}$ ,  $m_I$ ,  $m_{II}$ ,  $n_{2rsI}$ ,  $n_{2rsII}$  i dr.) i složenog pretvarača ( $i_{Br1}$ ,  $i_{Br2}$ ,  $S_p$ ,  $\eta_{Br1}$ ,  $\eta_{Br2}$ ,  $d_{3v}$ ,  $d_{3v}/d_{3m}$  i dr.) kao funkcija od  $t_I$  i  $t_{II}$ .

Na ovaj se način sastavljena baza podataka može upotrijebiti za analizu dobivenih parametara pretvarača. Moguće je i generirati grafičke prikaze navedenih parametara kao funkcija od  $t_I$  i  $t_{II}$ , što doprinosi brzoj orijentaciji konstruktora u sagledavanju mogućnosti različitih varijanti pretvarača.

Iz baze podataka se može odrediti kod kojih vrijednosti  $t_I$  i  $t_{II}$  se u okviru neke varijante dobivaju željeni prijenosni omjeri. Ukoliko ima više kombinacija idealnih momentnih omjera koji ispunjavaju kinematičke zahtjeve moguće je odrediti onu kombinaciju  $t_I$  i  $t_{II}$  koja osigurava minimalne gabarite, minimalnu masu planetnih slogova ili pak maksimalan stupanj iskoristivosti i sl.

Ukoliko se kvaliteta rješenja ne može izraziti samo s jednim kriterijem potrebno je provesti usporedbu rješenja prema više kriterija. U tom slučaju je potrebna normativna metoda za određivanje suženog skupa prihvatljivih rješenja.

U ovom poglavlju, razrađena metodika višekriterijske optimizacije omogućuje određivanje najprikladnije strukturne sheme na osnovu kvantitativno izraženih prioriteta pojedinih parametara preko težinskih koeficijenata. Na taj način se uzima u obzir različit stupanj važnosti svakog kriterija za konkretni slučaj primjene pretvarača.

Kod jednobrzinskih pretvarača svaki ponaosob razmatrani parametar poprima svoju najbolju vrijednost u općem slučaju kod različite kombinacije  $t_I$  i  $t_{II}$ . Izbor varijante prema samo jednom kriteriju vodi k poboljšanju varijante pretvarača samo prema dotičnom kriteriju i ne zadovoljava u slučajevima kada se kvaliteta rješenja ne može opisati samo jednom funkcijom cilja. Kod optimizacije stupnja iskoristivosti se traži maksimum njegove funkcije cilja, a kod optimizacije gabarita i mase se traži minimum. Iz razloga što je optimizacijski zadatak višekriterijski i raznosmjeren optimalno rješenje će biti kompromisno rješenje. Naime, poboljšanje kvalitete rješenja po jednom kriteriju dovodi do pogoršanja kvalitete rješenja po drugom kriteriju. Budući da kriterijske funkcije nisu izražene istim mjernim

jedinicama, odnosno postoje raznorodne kriterijske funkcije (heterogeni kriterijski prostori) uvodi se prikladna transformacija u cilju usklađivanja metrike.

Ovdje će se koristiti transformacija koja se postiže dijeljenjem s dužinom intervala vrijednosti kriterijske funkcije [68].

Zbog razlika u dimenzijama i varijaciji odijeljenih kriterija, isti se normiraju, da bi se dobila bezdimenzijska kvantitativna ocjena [68]. Za svaku varijantu se provodi izračun prema (8.2.1) i (8.2.2).

$$k_i(t_1, t_{II}) = \frac{f_i(t_1, t_{II}) - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \quad \text{ili} \quad k_j(t_1, t_{II}) = \frac{f_j^{\max} - f_j(t_1, t_{II})}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, \quad (8.2.1)$$

gdje je:

$k_i(t_1, t_{II})$  - bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s minimumom;

$k_j(t_1, t_{II})$  - bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s maksimumom;

$f_i(t_1, t_{II})$  i  $f_j(t_1, t_{II})$  - trenutna vrijednost funkcije primjenjivanog kriterija;

$f_{\max}$  i  $f_{\min}$  - ekstremne vrijednosti razmatranog kriterija u razmatranom intervalu od  $t_1$  i  $t_{II}$

(promatrano između svih varijanti koje mogu realizirati kinematicke zahtjeve)

Globalni kriterij se izražava preko funkcije cilja, dobivene zbrojem umnožaka težinskih koeficijenata i bezdimenzijskih ocjena cilja primjenjivanih kriterija.

$$Z_{gl}(t_1, t_{II}) = \sum_{i=1}^n \chi_i \cdot k_i(t_1, t_{II}) + \sum_{j=1}^m \chi_j \cdot k_j(t_1, t_{II}), \quad (8.2.2)$$

gdje su:

$\chi_i$  - težinski koeficijenti pojedinih kriterija funkcija s minimumom,  $0 < \chi_i < 1$ ;

$\chi_j$  - težinski koeficijenti pojedinih kriterija funkcija s maksimumom,  $0 < \chi_j < 1$ ;

$$\sum \chi_i + \chi_j = 1 \quad (8.2.3)$$

Optimalno rješenje s obzirom na upravljujuće parametre  $t_1$  i  $t_{II}$  je ono kod kojeg funkcija cilja (8.2.4) dostiže minimum.

$$(t_1^*, t_{II}^*) : \min_{t_{\min} \leq t_1, t_{II} \leq t_{\max}} Z_{gl}(t_1, t_{II}). \quad (8.2.4)$$

### 8.3 Izbor najprikladnije varijante pretvarača

U okviru jednokriterijske optimizacije izbor najprikladnije varijante pretvarača se svodi na određivanje najprihvatljivije kombinacije  $t_1$  i  $t_{II}$  za izabrani parametar (kriterij) kod svake varijante pretvarača, registriranje vrijednosti najprihvatljivijeg parametra kod svake varijante pretvarača, međusobno uspoređivanje vrijednosti tih parametara te određivanje najprikladnije varijante pretvarača (s pripadnim  $t_1$  i  $t_{II}$ ) prema dotičnom kriteriju.

Kod višekriterijske optimizacije se također nalaze najprikladnije vrijednosti  $t_1$  i  $t_{II}$  za svaku od razmatranih varijanti pretvarača, ali prema globalnom kriteriju (8.2.2).

Nakon što su određeni najprihvatljiviji idealni momentni omjeri kod svih varijanti pretvarača koje mogu ostvariti postavljene kinematičke zahtjeve potrebno ih je međusobno usporediti i napraviti prioritetnu listu. U cilju dobivanja prioritetne liste varijanti pretvarača provodi se iz početka postupak normiranja po (8.3.1). Sada su  $f_{\max}$  i  $f_{\min}$  ekstremne vrijednosti karakteristika, dobivene od višekriterijske optimizacije različitih varijanti.

$$k_i(p_v) = \frac{f_i(p_v) - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \quad \text{ili} \quad k_j(p_v) = \frac{f_j^{\max} - f_j(p_v)}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, \quad (8.3.1)$$

gdje je:

$k_i(p_v)$  - bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s minimumom;

$k_j(p_v)$  - bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s maksimumom;

$f_i(p_v)$  i  $f_j(p_v)$  - trenutna vrijednost dotične karakteristike dobivene kod višekriterijske optimizacije različitih varijanti;

$f_{\max}$  i  $f_{\min}$  - ekstremne vrijednosti karakteristika dobivene višekriterijskom optimizacijom različitih varijanti;

$p_v$  - redni broj varijante koja učestvuje u procesu optimalnog izbora

Za ovako određene bezdimenzijske vrijednosti kriterija  $k(p_v)$  se ponavlja procedura određivanja funkcije cilja na osnovu (8.2.2) i traženja njenog minimuma s pripadnim idealnim momentnim omjerima na osnovu (8.2.4).

Ovdje je objašnjena metodika izbora optimalne varijante pretvarača prema više kriterija. Taj se izbor provodi pomoću u tu svrhu razvijenog programskog sustava nazvanog *DVOBRZI*.

## 8.4 Programski sustav **DVOBRZ1**

Razvijeni programski sustav ima tri podsustava:

- podsustav za analizu karakteristika proizvoljne varijante
- podsustav za sintezu svih rješenja koja udovoljavaju postavljenim zahtjevima
- podsustav za ocjenu rješenja

### 8.4.1 Podsustav za analizu karakteristika pretvarača

Ovaj podsustav omogućuje generiranje skupova različitih karakteristika svake od varijanti pretvarača prema zadanim ulaznim podacima u *input* datoteci i ispis skupova u datoteku. To omogućuje inženjersku vizualizaciju velikih skupova podataka i iscrpnu analizu. U cilju bržeg odziva programskega sustava, kao opciju, nudi se reducirani ispis skupova podataka analizirane varijante pretvarača.

Reducirani ispis sadrži podatke o varijanti pretvarača u zadanim intervalima idealnih momentnih omjera. Ti podaci su:

- ostvarivi prijenosni omjeri
- ostvarivi skokovi prijenosa
- brojevi zubi zupčanika planetnih slogova
- moduli zupčanika planetnih slogova
- diobeni promjeri vijenaca
- omjeri diobenih promjera vijenaca
- orijentacijske mase zupčanika planetnih slogova
- orijentacijska masa svih zupčanika pretvarača
- računski stupanj iskoristivosti pretvarača u svakoj od brzina
- ekvivalentni računski stupanj iskoristivosti
- disperzija računskog stupnja iskoristivosti prikazana pomoću standardne devijacije
- specifične relativne brzine satelita
- sile na ležajevima satelita
- specifični momenti na vratilima kočnica pretvarača

Potpuni skup osim navedenih podataka, sadrži još:

- intenzitete brzina vrtnje svih članova
- intenzitete momenta torzije na svim članovima
- intenzitete snaga na svim članovima
- specifične relativne snage (specifične snage odvaljivanja) na oba planetna sloga

Svim navedenim podacima je pridružen uređen par idealnih momentnih omjera planetnih slogova  $t_1$  i  $t_{II}$  tako da ih se može grafički prikazati kao funkcije od  $t_1$  i  $t_{II}$ . Pomoću programskog sustava *Origin 7.5* (bio je dostupan na TU u Sofiji) je moguće i prikaz međuvisnosti vrijednosti navedenih karakteristika, pri čemu jedna ili dvije karakteristike mogu tvoriti domenu, a treća kodomenu.

Primjer za to je ekvivalentni računski stupanj iskoristivosti pojedine varijante kao funkcija dvaju prijenosnih omjera.

Svi izlazni podaci podsustava za analizu se upisuju u mapu *all results* razvijenog programskog sustava *DVOBRZI*.

#### 8.4.2 Podsustav za sintezu varijanti pretvarača

Podsustav za sintezu vraća kao rezultat sva rješenja (varijante pretvarača) koja udovoljavaju zahtjevima iz *input* datoteke programa *DVOBRZI* kao i skupove njihovih kvantitativnih karakteristika. Izlazni podaci se zapisuju u mapu *results* i oni su:

- alfanumerička oznaka varijante pretvarača
- pripadni idealni momentni omjeri planetnih slogova
- pripadni kinematički prijenosni omjeri
- brojevi zubi vijenca planetnih slogova
- moduli ozubljenja planetnih slogova
- omjeri diobenih promjera vijenaca planetnih slogova
- orijentacijske mase zupčanika pojedinih planetnih slogova
- ukupna orijentacijska masa svih zupčanika pretvarača
- specifične relativne brzine vrtnje satelita
- ekvivalentni stupanj iskoristivosti
- disperzijska karakteristika izračunatog ekvivalentnog stupnja iskoristivosti (standardna devijacija)
- eventualne specifične jalove snage (omjer jalove snage i snage na ulazu u pretvarač)

### 8.4.3 Podsustav za ocjenu rješenja

Podsustav za ocjenu rješenja omogućuje rangiranje varijanti pretvarača prema kriterijima obuhvaćenim složenom globalnom funkcijom cilja i izbor optimalnog rješenja.

Minimum globalne funkcije cilja  $Z_{\text{glmin}}$  daje uvjetno rečeno optimalno rješenje. Naime, to rješenje je preporuka programskog sustava u kojem su najvažniji kriteriji izraženi težinskim koeficijentima. Zbog nemogućnosti da se matematičkim modelom obuhvate svi kriteriji koji utječu na kakvoću rješenja, kao i problematike (ne)poznavanja točnih vrijednosti težina kriterija, strogo se preporučuje kritička procijenjena rješenja s aspekta kriterija koji nisu obuhvaćeni matematičkim modelom (dostupnost materijala, tehnologičnost, troškovi izrade itd.)

U izlaznoj datoteci *rank* u mapi *results* (program DVOBRZ1) uz redni broj koji označava poziciju pojedine varijante pretvarača na prioritetnoj ljestvici programske sustav vraća:

- oznake varijante pretvarača s pripadnim težinskim koeficijentima
- vrijednost globalne funkcije cilja tj. kvantitativnu ocjenu rješenja
- pripadne idealne momentne omjere planetnih slogova
- ostvarive kinematičke prijenosne omjere
- ekvivalentni stupanj iskoristivosti
- disperzija ekvivalentnog stupnja iskoristivosti određena standardnom devijacijom
- diobeni promjer većeg vijenca
- omjer diobenih promjera vijenaca većeg i manjeg planetnog sloga
- ukupnu orijentacijsku masu zupčanika pretvarača
- specifičnu brzinu vrtnje najbržeg satelita
- module ozubljenja planetnih slogova
- minimalnu zahtijevanu dinamičku nosivost najopterećenijeg ležaja satelita

### 8.4.4 Ulagani podaci u programske sustav

Do sada su navedene mogućnosti programa u vidu izlaznih podataka programskog sustava. Kako bi programski sustav mogao dati izlazne podatke treba unijeti ulazne podatke. Ulazni podaci u programske sustav se unose u datoteku *input* (program DVOBRZ1) i oni su:

#### 1. Broj zahtijevanih brzina $I$

Upisuje se 1 ili 2 ovisno o tome da li se traži jednobrzinski ili dvobrzinski pretvarač.

2. Zahtijevani prijenosni omjeri svake od brzina čija je tolerancija zadana intervalno tj. s minimalnom i maksimalnom vrijednošću prijenosnog omjera pojedine brzine  $\langle i_{1\min} \div i_{1\max} \rangle$ ,  $\langle i_{2\min} \div i_{2\max} \rangle$ .

U literaturi postoje preporuke o dopuštenom odstupanju prijenosnog omjera od zadanog i ono se kreće za dvostupanske pretvarače do 5 % [3]. Ovo odstupanje u općem slučaju ovisi o namjeni pretvarača. Iz tog razloga je programski sustav zasnovan na intervalnom zadavanju prijenosnih omjera.

3. Mogućnost promjene smjera vrtnje vratila (prekretanja) pogonskog stroja  
(rev = 1 - moguće prekretanje; rev = 0 - nije moguće prekretanje)
4. Minimalna zahtijevana trajnost ležajeva satelita  $L / h$  (orientacijski 5000-10000)
5. Vrsta ležajeva satelita ( $vl=1$  za kuglične,  $vl=2$  za valjkaste)
6. Ulazni moment  $T_A / \text{Nm}$
7. Brzina vrtnje ulaznog vratila  $n_A / \text{min}^{-1}$
8. Zahtijevani intervali idealnih momentnih omjera planetnih slogova:  
 $\langle t_{1\min} \div t_{1\max} \rangle$  i  $\langle t_{II\min} \div t_{II\max} \rangle$
9. Udio (učestalost) rada i-tog stupnja prijenosa u radnom vijeku  $\alpha_i / \%$
10. Vrijednost sustavne varijable *etaz* koja određuje način dobivanja relativnog stupnja iskoristivosti u ozubljenju planetnog sloga. Moguće su dvije vrijednosti:
  - *etaz* = 0, kod koje se može usvojiti posebno za  $\eta_{zI}$  i  $\eta_{zII}$  neka konstantna preporučena vrijednost primjerice  $0,97 \div 0,98$  po planetnom slogu [70] ili preciznije,
  - *etaz* = 1, kod koje se  $\eta_{zI}$  i  $\eta_{zII}$  određuju kao funkcije brojeva zubi [7, 16]

11. Broj zubi na sunčanim zupčanicima prvog i drugog planetnog sloga  $z_{\text{II}}$ ,  $z_{\text{III}}$
  
12. Vrijednost  $\eta_{\min \text{dop}}$  nalaže sintezu samo onih rješenja koja imaju ekvivalentni računski stupanj iskoristivosti veći od zadanog
  
13. Podaci za optimalni izbor prema više kriterija

Razvijeni programski sustav omogućuje iznalaženje optimalne varijante pretvarača s pripadnim parametrima prema pet različitih kriterija od čega se u jednom procesu optimizacije mogu upotrijebiti najviše tri kriterija. Svaki kriterij ima svoju važnost koja se uzima u obzir s težinskim koeficijentom. Suma težinskih koeficijenata mora biti jednaka jedinici. Često konstruktor nije u mogućnosti znati točnu vrijednost pojedinog težinskog koeficijenta. Njihova vrijednost može varirati u nekoj mjeri pa je moguće da se za različite težinske koeficijente dobiju različiti najprihvatljiviji idealni momentni omjeri (poglavito kod jednobrzinskih pretvarača). Zato je u ovom programskom sustavu omogućeno da se neki težinski koeficijenti zadaju intervalno i da se unutar tog intervala u proračunu izmjenjuju vrijednosti. Korisnik određuje na koliko dijelova će se dijeliti interval i koliko će se nedominantnih rješenja dobiti. Pod nedominantnim rješenjima se podrazumijevaju rješenja uvjetno jednakе kvalitete. Naime, program će provoditi onoliko izbora koliko ima kombinacija težinskih koeficijenata. Svaki od tri kriterija ima svoj težinski koeficijent. Od toga jedan težinski koeficijent mora biti fiksna vrijednost. Na preostala dva kriterija zadaju se intervalno težinski koeficijenti. Dovoljno je zadati minimalnu i maksimalnu vrijednost težinskog koeficijenta na jednom kriteriju, a na drugom kriteriju će program sam odrediti interval uvažavajući činjenicu da suma težinskih koeficijenata sva tri kriterija treba biti jednaka jedinici. Ako se primjerice korisnik programa odluči za dobivanje deset nedominantnih rješenja onda će se sukladno tome interval težinskih koeficijenata prvog i drugog kriterija podijeliti i određivati će se vrijednosti funkcije cilja uz različite težinske koeficijente deset puta.

U programu je moguće istovremeno provoditi usporedbu prema tri od pet kriterija. Tih pet kriterija su: minimalni diobeni promjer planetnog sloga većih radijalnih izmjera, minimalna ukupna masa svih zupčanika pretvarača, maksimalan ekvivalentni računski stupanj iskoristivosti, minimalna relativna brzina vrtnje najbržeg satelita pretvarača i minimalna potrebna dinamička nosivost opterećenijih ležaja satelita.

U Tab. 8.4.1 je prikazan primjer načina izbora kriterija i unošenja težinskih koeficijenata u program.

**Tab. 8.4.1 Primjer tablice za odabir kriterija kod izbora optimalne varijante i unos težinskih koeficijenata**

	$\max(\eta)$	$\min(d_{3v})$	$\min(m)$	$\min(n_{2r})$	$\min(C)$
oznaka	2	1	0	3	0
$\chi_{\min}$	(0,1)	0,9	0	0	0
$\chi_{\max}$	(0)	1	0	0	0
broj nedominantnih rješenja					stp_int=3

Prvi redak tablice sadrži svih pet kriterija prema kojim je moguć optimalni izbor. U drugom retku se izabiru kriteriji koji će se primijeniti u optimizaciji. Može ih biti najviše tri. Oznakom 1 je označen kriterij kod koga se zadaju varijabilne vrijednosti težinskih koeficijenata u određenom intervalu. Oznakom 2 je označen kriterij kod koga ne treba unositi vrijednosti težinskih koeficijenata jer su one ovisne o vrijednostima kod kriterija označenog s 1 i 3. Oznakom 3 se označava kriterij koji ima nepromjenjivu vrijednost težinskih koeficijenata.

U trećem i četvrtom retku se unose minimalna i maksimalna vrijednost težinskih koeficijenata. U petom retku se zadaje broj traženih nedominantnih rješenja tj. rješenja koja su prema ulaznim podacima jednako uspješna. U ovom primjeru to je 3 (stp\_int=3).

U Tab. 8.4.1 kao primjer je prikazana postava za optimalni izbor prema dva kriterija. To su minimalni diobeni promjer vijenca i maksimalni ekvivalentni računski stupanj iskoristivosti. Treći kriterij nije uzet u obzir jer mu je težinski koeficijent jednak nuli. Iz Tab. 8.4.1 se vidi da se vrijednost težinskog koeficijenta kriterija 1 mijenja od 0,9 do 1, a vrijednost težinskog koeficijenta kriterija 2 se shodno tome kreće od 0,1 do 0. Uz tom intervalu težinskih koeficijenata se traže tri nedominantna rješenja.

U Tab. 8.4.1 su:

$\chi_{\min}$  - minimalna vrijednost dotičnog težinskog koeficijenta

$\chi_{\max}$  - maksimalna vrijednost dotičnog težinskog koeficijenta

#### 14. Provjera za montažu

Kod sinteze planetnog sloga je poželjno da bude ispunjen uvjet montaže tj. da bude zadovoljena jednakost:  $\frac{z_1 + |z_3|}{k} = \text{cijeli broj.}$

Dodjeljivanjem sustavnoj varijabli *mont* vrijednost 1 uzima se u obzir uvjet montaže, a dodjeljivanjem vrijednosti 0 uvjet montaže se ne uzima u obzir i pri sintezi planetnih slogova se treba držati preporuka iz [67].

#### 15. Izračun s ekvivalentnim stupnjem iskoristivosti (*ck\_etaE da=1, ne=0*)

Ako se sustavnoj varijabli *ck\_etaE* dodijeli 1, program kao kriterij uzima maksimalni ekvivalentni stupanj iskoristivosti. U protivnom program kao kriterij uzima manju vrijednost između  $\eta_{Br1}$  i  $\eta_{Br2}$  te je maksimizira u skladu s težinskim koeficijentima.

#### 16. Podaci za određivanje relativnog stupnja gubitaka $\psi_0$

U procesu određivanja stupnja iskoristivosti programski sustav određuje relativne stupnjeve gubitaka planetnih slogova. Gubici u planetnim slogovima su svojim najvećim dijelom gubici u ozubljenju. Pored tih gubitaka nastaju gubici u ležajevima, brtvama i mazivu. Za dobivanje ukupnih gubitaka koriste se koeficijenti  $k_B$ ,  $k_S$  i  $k_C$ . Ovi koeficijenti su dobiveni eksperimentalnim putem i nalaze se u sljedećim intervalima [65].

Koeficijent gubitaka u ležajevima  $k_B \in (0,06 .. 0,07)$

Koeficijent gubitaka u brtvama  $k_S \in (0,01 .. 0,09)$

Koeficijent gubitaka u mazivu  $k_C \in (0,25 .. 0,02)$

U cilju usporedne analize moguć je izbor minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti koeficijenata.

Lijeve vrijednosti koeficijenata odnose se na planetne slogove kod kojih su prisutne relativno veće brzine rotacije zupčanika, a desne vrijednosti se odnose na planetne slogove kod kojih su prisutne relativno manje brzine rotacije zupčanika [65].

## 17. Uzimanje u obzir utjecaj centrifugalne sile na opterećenje ležajeva

U radu planetnog pretvarača i centrifugalne sile opterećuju ležajeve satelita planetnih sloganova. Njih treba uzeti u obzir kod velikih brzina vrtnje (turboreduktori). Dodjeljivanjem vrijednosti 1 sustavnoj varijabli  $F\_cen$  kod izračuna sila na ležajevima i potrebne dinamičke nosivosti ležaja uzima se u obzir centrifugalna sila.

## 18. Red modula

Modul je normiran i nakon dobivanja računske vrijednosti modula obvezno treba usvojiti prvu veću normiranu vrijednost modula prema normi ISO 54\_DIN 780. Ako se sustavnoj varijabli  $mod\_gr$  dodijeli vrijednost 1 razmatrat će se svi moduli, a ako se dodijeli vrijednost 0, razmatrat će se samo prvi red modula.

## 19. Podaci za dimenzioniranje prema kriteriju izdržljivosti boka zuba

Uz parametre su pomoću intervala ili samo jednim podatkom navedene njihove moguće vrijednosti (orientacijski). Vrijednosti u zagradi su u programskom sustavu inicijalno unijete.

$Z_H = 1,6 \dots 3 \ (2,5)$	Faktor zone (utjecaj oblika boka zuba)
$Z_E = 140 \dots 190 \sqrt{MPa}$ ( $190 \sqrt{MPa}$ )	Faktor modula elastičnosti
$Z_\epsilon = 0,8 \dots 1 \ (1)$	Faktor utjecaja prekrivanja profila
$Z_\beta = 0,9 \dots 1 \ (1)$	Faktor nagiba zuba
$K_\gamma = 1,0 \dots 1,4 \ (1,2)$	Faktor raspodjele opterećenja na satelite
$k = 1..6 \ (3)$	Broj planeta
$b/d_1 = (0,7)$	Faktor širine
$\sigma_{H\limb} = 300 \dots 1700$	Dinamička čvrstoća boka zuba
$S_{H\min} = 1,3$	Minimalna tražena sigurnost protiv oštećenja boka zuba
$K_A = 1,0 \dots 3,5 \ (1,5)$	Faktor primjene (udara)
$K_v = 1,1 \dots 1,4 \ (1,2)$	Faktor dodatnih dinamičkih opterećenja
$K_\alpha = 1$	Faktor raspodjele opterećenja na par zubi u zahvatu

$K_{H\beta} = 1,2$	Faktor raspodjele opterećenja uzduž boka zuba
$Z_L = 1$	Faktor utjecaja maziva
$Z_V = 1$	Faktor utjecaja obodne brzine
$Z_R = 1$	Faktor utjecaja hrapavosti boka zuba
$Z_W = 1$	Faktor utjecaja povećanja tvrdoće
$Z_X = 1$	Faktor utjecaja veličine zupčanika
$Z_N = 1$	Faktor povećanja trajnosti boka zuba

## 20. Podaci za dimenzioniranje prema kriteriju izdržljivosti korijena zuba

Uz parametre su pomoću intervala ili samo jednim podatkom navedene njihove moguće vrijednosti (orientacijski).

$Y_{FS} = 4,2$	Faktor zahvata na vrhu zuba
$Y_\epsilon = 1,0 \ (\epsilon_\alpha = 1,1 \rightarrow Y_\epsilon = 0,9318)$	Faktor stupnja prekrivanja profila
$Y_\beta = 1$	Faktor kuta nagiba
$Y_A = 1$	Faktor utjecaja promjene smjera opterećenja
$\sigma_{FE} = 200 \dots 1100 \text{ Mpa}$	Dinamička čvrstoća korijena zuba
$S_{F\min} = 1,7$	Minimalna vrijednost sigurnosti na lom zuba
$Y_N = 1$	Faktor trajnosti korijena zuba
$Y_\delta = 1$	Faktor osjetljivosti materijala na koncentratore naprezanja
$Y_R = 1$	Faktor utjecaja hrapavosti prijelaznog dijela korijena
$Y_x = 1$	Faktor veličine zupčanika

## 21. Upis informacija u datoteku

Ovim sustavnim varijablama se određuje skup izlaznih informacija

- all\_res= 0* - informacije se ne upisuju,
- all\_res= 1* - upisuje se reducirani skup informacija,
- all\_res= 2* - upisuje se potpun skup informacija

## 8.5 Primjer izbora optimalne varijante pretvarača

U cilju prikaza nekih od mogućnosti programskog sustava generirana je prioritetna lista rješenja za jedan dvobrzinski i za jedan jednobrzinski pretvarač.

### 8.5.1 Primjena programskog sustava za osnivanje dvobrzinskog pretvarača

Da bi se prikazalo kako programske sustave može pomoći pri osnivanju dvobrzinskog pretvarača prikazan je sljedeći primjer. Relevantni ulazni podaci su:

Broj traženih prijenosnih omjera je 2 i to:  $9,8 \leq i_1 \leq 10$  i  $3,9 \leq i_2 \leq 4$

Intervali idealnih momentnih omjera su:  $2 \leq t_{I_1} \leq 12$  i  $2 \leq t_{II_1} \leq 12$

Brojevi zubi sunčanih zupčanika su:  $z_{I_1}=18$  i  $z_{II_1}=18$ ;

Učestalosti rada s navedenim prijenosnim omjerima su:  $\alpha_{I_1}=0,7$  (70%) i  $\alpha_{II_1}=0,3$  (30%)

Moment na ulazu je  $T_A=50$  Nm uz brzinu vrtnje  $n_A=2850 \text{ min}^{-1}$ .

Ostali podaci navedeni su u dijelu prikaza datoteke *input* na sl. 8.5.1

```
*****
0      mod_gr=1 - prvi red; not =1 svi prema ISO 54_DIN 780
*****
Podaci za Sig_HP (k0)
*****
2.5    Zh=1.6 .. 3 (2.5)
190    Ze=140 .. 190
1.0    Zeps=0.8 .. 1 (1)
1.0    Zbet=0.9 .. 1 (1)
1.2    Kgam=1.0 .. 1.4 (1.2)
3.0    k=1..6
0.7    b/d
1470   Sig_HlimB=300 .. 1700
1.2    S_Hmin=1.3
1.5    Ka=1.0 .. 3.5 (1.5)
1.2    Kv=1.1 .. 1.4 (1.2)
1.0    Kh_alf
1.2    Kh_bet
*****
Podaci za Sig_FP (k1)
*****
4.2    Y_FS
1.1    eps_alf (Y_eps)
1.0    Y_eps
1.0    Y_bet
1.0    Y_B
860    Sig_FE=200 .. 1100
1.7    S_Fmin=1.7
1.0    Y_NT
1.0    Ydel_relt
1.0    YR_relt
1.0    Yx
*****
```

Sl. 8.5.1 Neki ulazni podaci u programski sustav DVOBRZ1 kod izbora varijante dvobrzinskog pretvarača

Na osnovu programskog sustava DVOBRZ1 dobiveni su rezultati koji daju uvid u osnovne parametre varijanti pretvarača koje mogu realizirati tražene prijenosne omjere. Neki od osnovnih parametara tih varijanti su navedeni u Tab. 8.5.1, Tab. 8.5.2 i Tab. 8.5.3.

**Tab. 8.5.1 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima  $\chi_d=1, \chi_\eta=0$** 

	SchV[X]	t1[Y]	t2[Y]	i1[Y]	i2[Y]	Zgl[Y]	d[Y]	mass[Y]	etaeqsr[Y]		m1[Y]	m2[Y]
									Z gl	eta eq sr		
1	S16 v3	3	2	10	4	0	117	4,333	0,95305	1,75	3,25	
2	S55 v5	5	3	10	4	0,32143	157,5	6,703	0,93033	1,75	2,5	
3	S13 v1	5	2	10	4	0,32143	157,5	9,367	0,94015	1,75	4	
4	S36 v4	4,8333	8,8333	9,83333	3,91098	0,96429	238,5	8,765	0,98617	1,38	1,5	
5	S33 v6	3	8,8333	9,83333	4	0,96429	238,5	8,364	0,98377	1,75	1,5	
6	S12 v3	8,8333	2	9,83333	3,94444	0,96429	238,5	10,432	0,97937	1,5	3,25	

**Tab. 8.5.2 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima  $\chi_\eta=1, \chi_d=0$** 

	SchV[X]	t1[Y]	t2[Y]	i1[Y]	i2[Y]	Zgl[Y]	d[Y]	mass[Y]	etaeqsr[Y]		m1[Y]	m2[Y]
									Z gl	eta eq sr		
1	S36 v4	4,8333	9	10	3,93258	0	243	9,056	0,98622	1,38	1,5	
2	S33 v6	3	9	10	4	0,04303	243	8,656	0,98381	1,75	1,5	
3	S12 v3	8,8333	2	9,83333	3,94444	0,12245	238,5	10,432	0,97937	1,5	3,25	
4	S16 v3	3	2	10	4	0,59336	117	4,333	0,95305	1,75	3,25	
5	S13 v1	5	2	10	4	0,82417	157,5	9,367	0,94015	1,75	4	
6	S55 v5	5	3	10	4	1	157,5	6,703	0,93033	1,75	2,5	

**Tab. 8.5.3 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima  $\chi_d=0,5, \chi_\eta=0,5$** 

	SchV[X]	t1[Y]	t2[Y]	i1[Y]	i2[Y]	Zgl[Y]	d[Y]	mass[Y]	etaeqsr[Y]		m1[Y]	m2[Y]
									Z gl	eta eq sr		
1	S16 v3	3	2	10	4	0,29668	117	4,333	0,95305	1,75	3,25	
2	S36 v4	4,8333	8,8333	9,83333	3,91098	0,48254	238,5	8,765	0,98617	1,38	1,5	
3	S33 v6	3	8,8333	9,83333	4	0,50406	238,5	8,364	0,98377	1,75	1,5	
4	S12 v3	8,8333	2	9,83333	3,94444	0,54337	238,5	10,432	0,97937	1,5	3,25	
5	S13 v1	5	2	10	4	0,5728	157,5	9,367	0,94015	1,75	4	
6	S55 v5	5	3	10	4	0,66071	157,5	6,703	0,93033	1,75	2,5	

Analizom Tab. 8.5.1 (dobivena rukovodeći se samo prema kriteriju minimalnih gabarita,  $\chi_d=1$ ) se vidi da se najmanji radikalni gabariti (sudeći po diobenom promjeru radikalno većeg vijenca) dobiju kod varijante S16V3 uz uređeni par idealnih momentnih omjera (3 ; 2). U tom slučaju diobeni promjer radikalno većeg vijenca iznosi 117 mm. Vidi se da je kod ove varijante i masa najmanja. Računski ekvivalentni stupanj iskoristivosti  $\eta_{ekv}$  iznosi 0,953.

Analizom Tab. 8.5.2 (dobivena rukovodeći se samo prema kriteriju maksimalnog ekvivalentnog stupnja iskoristivosti,  $\chi_\eta=1$ ) se vidi da je S36V4 najbolja varijanta pretvarača prema kriteriju energetske efikasnosti. Tu je računski ekvivalentni stupanj iskoristivosti  $\eta_{ekv}=0,9862$ , ali je diobeni promjer radikalno većeg vijenca znatno veći i iznosi 243 mm.

Analizom Tab. 8.5.3 (dobivena rukovodeći se prema oba kriterija s jednakim težinskim koeficijentima, ( $\chi_d=0,5$  i  $\chi_\eta=0,5$ ) se vidi da je optimalna varijanta pretvarača S16V3, kao i u slučaju kod  $\chi_d=1$ .

Zapaža se da se promjenom težina kriterija mijenja vrijednost globalne funkcije cilja  $Z_{gl}$ , a time i pozicija varijanti u prioritetnoj listi.

Kod dvobrzinskih pretvarača samo jedna kombinacija idealnih momentnih omjera može dati zahtijevane prijenosne omjere. To znači da se kod izbora optimalnog rješenja oni ne mogu varirati u potrazi za idealnim momentnim omjerima jer bi se u protivnom mijenjali i prijenosni omjeri. Brojne provedene računalne sinteze raznih rješenja pokazuju da se kod dvobrzinskih pretvarača ne pojavljuje velik broj varijanti koje mogu ispuniti kinematičke zahtjeve. To omogućuje relativno lakši izbor odgovarajućeg rješenja.

### **8.5.2 Primjena programskog sustava za osnivanje jednobrzinskog pretvarača**

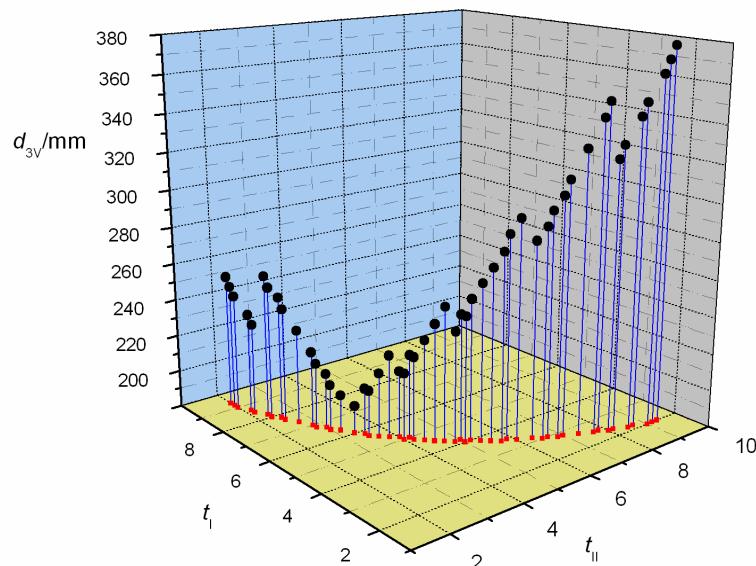
U slučaju da je cilj osnovati pretvarač s mogućnosti realizacije samo jedne brzine određenog prijenosnog omjera, programski sustav će generirati skup varijanti jednobrzinskih pretvarača koji mogu ostvariti postavljene zahtjeve. Svaka varijanta toga skupa u općem slučaju ima skup uređenih parova idealnih momentnih omjera pri čemu svaki pojedini uređeni par omogućuje realizaciju zahtijevanog prijenosnog omjera u njegovom intervalu tolerancije. Svi uređeni parovi unutar pripadne varijante omogućuju ostvarenje traženog prijenosnog omjera, ali uz različite dimenzije planetnih slogova, različite stupnjeve iskoristivosti, različite relativne brzine vrtnje satelita itd. Programski sustav može pronaći najprihvatljiviji uređeni par idealnih momentnih omjera rukovodeći se izabranim kriterijima. Kriterijima su pridruženi određeni težinski koeficijenti kojim se opisuju njihove važnosti.

Kao primjer su prikazane karakteristike varijante pretvarača S15V1 koja uz moment na ulaznom vratilu od  $T_A = 50 \text{ Nm}$  i određene idealne momentne omjere ostvaruje prijenosni omjer  $i = 30,5 \pm 0,5$ . Broj zubi na sunčanim zupčanicima planetnih slogova je  $z_{II} = z_{III} = 18$ .

Na sl. 8.5.2, sl. 8.5.3 i sl. 8.5.4 su prikazani grafovi na kojima su pomoću točaka u horizontalnoj ravnini predstavljeni uređeni parovi idealnih momentnih omjera varijante S15V1 koji omogućuju ostvarenje zahtijevanog prijenosnog omjera. Na aplikati svakog grafa je vrijednost parametara prema kojim se može ocijeniti rješenje. Na prvom grafu je na aplikati diobeni promjer većeg vijenca  $d_{3v}$ , na drugom grafu je na aplikati omjer diobenih promjera većeg i manjeg vijenca  $d_{3v} / d_{3m}$  i na trećem grafu je na aplikati računski stupanj iskoristivosti  $\eta$ . Iz grafova se vidi da se vrijednosti navedenih parametara mijenjaju od uređenog para do uređenog para idealnih momentnih omjera. Analize ove i drugih varijanti pretvarača pokazuju da se minimalna vrijednost diobenog promjera radikalno većeg vijenca pojavljuje kod idealnih momentnih omjera kod kojih je omjer diobenih promjera blizak minimalnom.

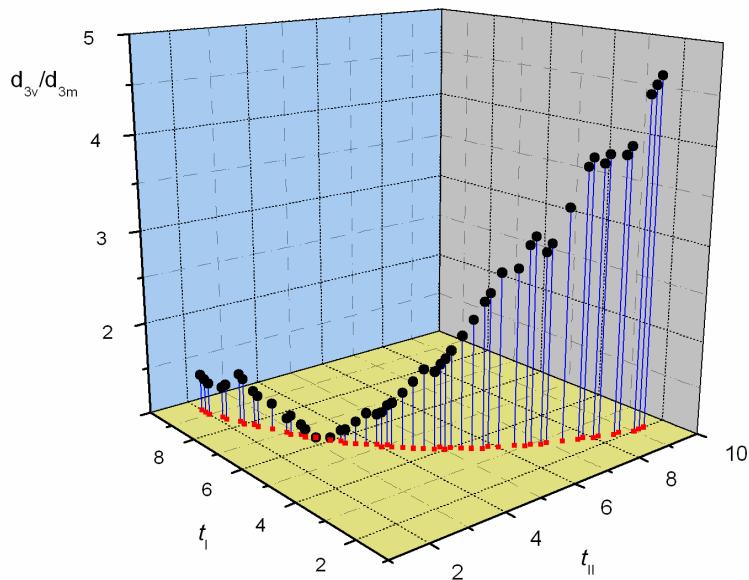
Računski stupanj iskoristivosti kod varijante S15V1 postiže prihvatljivu vrijednost u točkama gdje radijalne dimenzije pa time i ukupna masa planetnih slogova imaju minimalnu vrijednost. Iz baze dobivenih podataka o varijanti pretvarača se zna da se ovisno o kombinaciji vrijednosti idealnih momentnih omjera stupanj iskoristivosti  $\eta$  može kretati u intervalu od 0,952 do 0,966, maksimalni diobeni promjer  $d_{3v}$  u intervalu od 195 mm do 378 mm te omjer većeg i manjeg diobenog promjera vijenaca planetnih slogova  $d_{3v} / d_{3m}$  u intervalu od 1 do 4,6666.

Iz grafova se vidi da se od točke do točke radijalne izmjere znatno više mijenjaju nego stupanj iskoristivosti. Budući da se stupanj iskoristivosti vrlo malo mijenja razumno je pri izboru idealnih momentnih omjera izabrati one kod kojih su radijalne dimenzije minimalne.



**Sl. 8.5.2 Diobeni promjer radijalno većeg vijenca kao funkcija idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$**

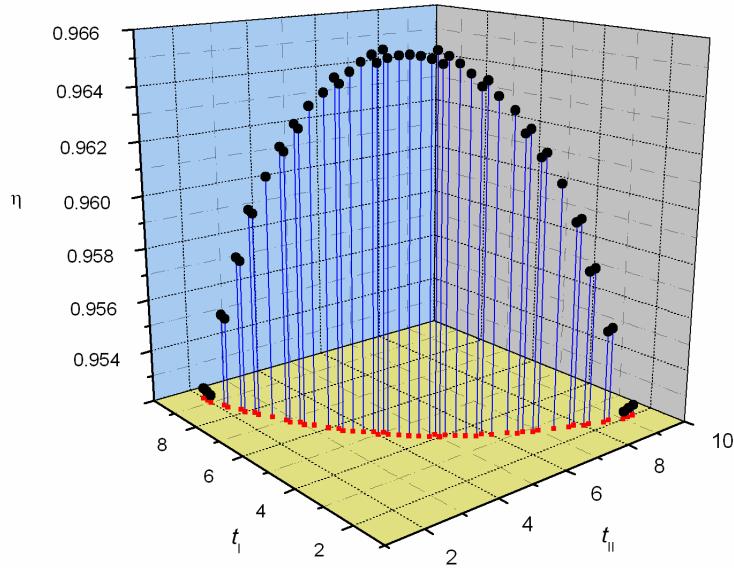
Minimalna vrijednost  $d_{3v\min}$  od 195 mm se dobiva kod  $t_I = 6$  i  $t_{II} = 3,3333$ . Ostali parametri kod ove kombinacije idealnih momentnih omjera su  $i = 30,3333$ ,  $\eta = 0,96421$ ,  $z_{3I} = 108$ ,  $z_{3II} = 60$ ,  $d_{3I} = 189$  mm,  $d_{3II} = 195$  mm.



**Sl. 8.5.3 Omjeri većeg i manjeg diobenog promjera vijenaca dvaju planetnih slogova kao funkcije idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$**

Minimalna vrijednost  $d_{3v} / d_{3m}$  jednaka jedinici se dobiva kod  $t_I = 6,3333$  i  $t_{II} = 3,1667$ .

Ostali parametri kod ove kombinacije idealnih momentnih omjera su  $i = 30,55556$ ,  $\eta = 0,96372$ ,  $z_{3I} = 114$ ,  $z_{3II} = 57$ ,  $d_{3I} = d_{3II} = 199,5\text{mm}$ .



**Sl. 8.5.4 Računski stupanj iskoristivosti  $\eta$  kao funkcija idealnih momentnih omjera  $t_I$  i  $t_{II}$**

Maksimalna vrijednost stupnja iskoristivosti  $\eta_{max} = 0,96571$  se dobiva kod  $t_I = 4,1667$  i  $t_{II} = 5$ . Ostali parametri kod ove kombinacije idealnih momentnih omjera su  $i = 31$ ,  $z_{3I} = 75$ ,  $z_{3II} = 90$ ,  $d_{3I} = 131,25$ ,  $d_{3II} = 247,5\text{mm}$ .

Programski sustav omogućuje da se uspoređuju sve varijante pretvarača međusobno i da se prema težinama izabranih kriterija dobije prioritetna lista varijanti pretvarača s njihovim optimalnim parametrima.

U nastavku su za tri različite kombinacije težinskih koeficijenata dobivene prioritetne liste varijanti s pripadnim parametrima i to za:

slučaj 1.  $\chi_d=1$  i  $\chi_\eta=0$

slučaj 2.  $\chi_d=0$  i  $\chi_\eta=1$

slučaj 3.  $\chi_d=0,5$  i  $\chi_\eta=0,5$

Relevantni ulazni podaci su:

Broj traženih prijenosnih omjera je 1 i to:

$$30,5 \leq |i| \leq 31$$

Intervali idealnih momentnih omjera su:  $2 \leq t_I \leq 12$  i  $2 \leq t_{II} \leq 12$

Brojevi zubi sunčanih zupčanika su:  $z_{II}=18$  i  $z_{III}=18$ ;

Moment na ulazu je  $T_A=50$  Nm uz brzinu vrtnje  $n_A = 2850 \text{ min}^{-1}$ .

Ostali podaci su navedeni u dijelu prikaza datoteke *input* na sl. 8.5.5

```
*****
0      mod_gr=1 - prvi red; not =1 svih prema ISO 54_DIN 780
*****
Podaci za Sig_HP (k0)
*****
2.5    Zh=1.6 .. 3 (2.5)
190    Ze=140 .. 190
1.0    Zeps=0.8 .. 1 (1)
1.0    Zbet=0.9 .. 1 (1)
1.2    Kgam=1.0 .. 1.4 (1.2)
3.0    k=1..6
0.7    b/d
1470   Sig_HlimB=300 .. 1700
1.2    S_Hmin=1.3
1.5    Ka=1.0 .. 3.5 (1.5)
1.2    Kv=1.1 .. 1.4 (1.2)
1.0    Kh_alf
1.2    Kh_bet
*****
Podaci za Sig_FP (k1)
*****
4.2    Y_FS
1.1    eps_alf (Y_eps)
1.0    Y_eps
1.0    Y_bet
1.0    Y_B
860    Sig_FE=200 .. 1100
1.7    S_Fmin=1.7
1.0    Y_NT
1.0    Ydel_relT
1.0    YR_relT
1.0    Yx
*****
```

Sl. 8.5.5 Neki ulazni podaci u programske sustav *DVOBRZ1* kod izbora varijante jednobrzinskog pretvarača

Za tri različite kombinacije težinskih koeficijenta programski sustav generira tri datoteke s prioritetnim popisom varijanti pretvarača koje mogu ostvariti zadani prijenosni omjer. Oznake varijanti s nekim osnovnim podacima o varijanti su navedene u Tab. 8.5.4, Tab. 8.5.5 i Tab. 8.5.6.

**Tab. 8.5.4 Prioritetna lista varijanti pretvarača s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente  $\chi_d=1$ ,  $\chi_\eta=0$**

Varijanta	$Z_{gl}$	$t_I$	$t_{II}$	$i$	$\eta$	$d_{3v}/\text{mm}$	$d_{3v}/d_{3m}$
S55V4Br2	0	3,8333	4	30	0,48074	180	1,04348
S15V1Br2	0,02717	6	3,3333	30,3333	0,96421	195	1,03175
S55V5Br2	0,03261	3,6667	3,1667	30,5555	0,73383	198	1,06883
S15V2Br2	0,04484	6	3,5	-30,5	0,96374	204,75	1,08333
S16V3Br2	0,04484	6,5	3,5	30,25	0,96431	204,75	1
S33V5Br2	0,05299	5	5,1667	31	0,46209	209,25	1,03333
S16V1Br1	0,05435	6,6667	3,5	-30	0,96329	210	1,02564
S33V4Br2	0,0625	3,1667	3,6667	30,5555	0,73383	214,5	1,07519
S14V2Br2	0,08016	6,6667	3,8333	30,3888	0,96296	224,25	1,06786
S14V1Br2	0,08967	8,5	3,1667	-30,0833	0,95826	229,5	1,07368
S13V3Br2	0,09239	8,5	3,6667	-30,1666	0,95894	231	1,00654
S13V1Br1	0,09239	8,3333	3,6667	30,5555	0,96015	231	1,02667
S33V4Br2	0,12228	5	4,1667	-30	0,80597	247,5	1,1
S55V5Br2	0,12228	4,1667	5	-30	0,80597	247,5	1,1
S11V4Br2	0,22826	4	4,1667	-30	0,46094	306	1,02
S33V5Br2	0,2731	10,5	10,1667	-30,5	0,52099	330,75	1,03279
S55V4Br2	0,29348	9,5	9,1667	-30,5	0,53827	342	1,03636
S11V5Br2	0,30435	5	4,8333	30	0,46536	348	1,03111
S11V5Br2	0,32609	5	5,1667	-30	0,44416	360	1,03226
S11V4Br2	0,86957	9,1667	8,8333	30,5	0,55893	660	1,03774

Iz Tab. 8.5.4 se vidi da je prema ovom kriteriju optimalna varijanta S55V4Br2. Ova varijanta ima najmanje radikalne gabarite  $d_{3v}=180$  mm, ali kod nje se javlja relativno nizak stupanj iskoristivosti  $\eta=0,48074$ . Druga po redu je varijanta S15V1Br2 s uređenim parom idealnih momentnih omjera (6; 3,3333) koja ima nešto malo veće gabarite  $d_{3v}=195$  mm i značajno veći stupanj iskoristivosti  $\eta=0,96421$ .

**Tab. 8.5.5 Prioritetna lista varijanti pretvarača s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente  $\chi_d=0$  i  $\chi_\eta=1$**

Varijanta	$Z_{gl}$	$t_I$	$t_{II}$	$i$	$\eta$	$d_{3v}/\text{mm}$	$d_{3v}/d_{3m}$
S15V1Br2	0	4,1667	5	31	0,96571	247,5	1,88571
S16V3Br2	0,00098	5	5	31	0,9652	247,5	1,57143
S14V2Br2	0,00098	5	5	31	0,9652	270	1,71429
S15V2Br2	0,00137	4,3333	5	-31	0,965	270	1,97802
S14V1Br2	0,00246	5	5,1667	-31	0,96443	279	1,77143
S16V1Br1	0,00246	5,1667	5	-31	0,96443	247,5	1,52074
S13V1Br1	0,00496	5,1667	6	31	0,96313	297	1,82488
S13V3Br2	0,00653	5,3333	6	-31	0,96231	297	1,76786
S55V5Br2	0,07694	12	8,3333	30,5454	0,92559	432	1,28
S33V4Br2	0,07694	8,3333	12	30,5454	0,92559	432	1,28
S55V5Br2	0,08717	8,3333	11,8333	-30,5555	0,92025	426	1,26222
S33V4Br2	0,08717	11,8333	8,3333	-30,5555	0,92025	426	1,136
S55V4Br2	0,77995	8,8333	9,1667	30,5	0,55893	330	1,03774
S11V4Br2	0,77995	9,1667	8,8333	30,5	0,55893	660	1,03774
S11V5Br2	0,80696	10	9,6667	30	0,54484	696	1,03111
S33V5Br2	0,81254	9,8333	10,1667	30,5	0,54193	320,25	1,0339
S11V4Br2	0,81955	9,1667	9,5	-30,5	0,53827	684	1,03636
S55V4Br2	0,81955	9,5	9,1667	-30,5	0,53827	342	1,03636
S11V5Br2	0,84752	10	10,3333	-30	0,52368	720	1,03226
S33V5Br2	0,85269	10,5	10,1667	-30,5	0,52099	330,75	1,03279

Analizom Tab. 8.5.5 se vidi da je prema kriteriju najveće energetske efikasnosti optimalna varijanta S15V1Br2 s uređenim parom idealnih momentnih omjera (4,1667; 5) i računskim stupnjem iskoristivosti  $\eta=0,96571$ . U prioritetnoj listi se vidi da prvih osam navedenih varijanti pretvarača ima podjednak stupanj iskoristivosti pa se pri odabiru najbolje varijante može izabrati varijanta koja je bolja prema drugim kriterijima.

**Tab. 8.5.6 Prioritetna lista varijanti s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente  $\chi_d=0,5$  i  $\chi_l=0,5$** 

Varijanta	$Z_{gl}$	$t_I$	$t_{II}$	$i$	$\eta$	$d_{3v}/\text{mm}$	$d_{3v}/d_{3m}$
S15V1Br2	0,01503	6	3,3333	30,3333	0,96421	195	1,03175
S16V3Br2	0,02377	6,5	3,5	30,25	0,96431	204,75	1
S15V2Br2	0,02431	6	3,5	-30,5	0,96374	204,75	1,08333
S16V1Br1	0,0295	6,6667	3,5	-30	0,96329	210	1,02564
S14V2Br2	0,04272	6,6667	3,8333	30,3888	0,96296	224,25	1,06786
S14V1Br2	0,05048	7,3333	3,6667	-30,5555	0,96124	231	1
S13V1Br1	0,05153	8,3333	3,6667	30,5555	0,96015	231	1,02667
S13V3Br2	0,05269	8,5	3,6667	-30,1666	0,95894	231	1,00654
S55V5Br2	0,18314	7	5,5	30,3333	0,87247	283,5	1,04132
S55V5Br2	0,19463	5,6667	7,1667	-30,8518	0,86686	290,25	1,03476
S33V4Br2	0,20058	5,1667	6,5	30,0625	0,86278	292,5	1,1437
S33V4Br2	0,21317	6,6667	5,3333	-30,6666	0,85674	300	1,13636
S55V4Br2	0,46493	3,8333	4	30	0,48074	180	1,04348
S33V5Br2	0,50931	5	5,1667	31	0,46209	209,25	1,03333
S55V4Br2	0,55651	9,5	9,1667	-30,5	0,53827	342	1,03636
S33V5Br2	0,56289	10,5	10,1667	-30,5	0,52099	330,75	1,03279
S11V4Br2	0,59804	4	4,1667	-30	0,46094	306	1,02
S11V5Br2	0,63184	5	4,8333	30	0,46536	348	1,03111
S11V5Br2	0,66304	5	5,1667	-30	0,44416	360	1,03226
S11V4Br2	0,82476	9,1667	8,8333	30,5	0,55893	660	1,03774

Analizom Tab. 8.5.6 se vidi da se uzimanjem u obzir oba kriterija s jednakim težinama kao najbolji izbor dobiva varijanta S15V1Br2 s uređenim parom idealnih momentnih omjera (6; 3,3333) koja ima diobeni promjer radikalno većeg vijenca  $d_{3v}=195 \text{ mm}$  i računski stupanj iskoristivosti  $\eta=0,96421$ . Kod ove varijante se stupanj iskoristivosti bitno ne mijenja kod sve tri kombinacije težinskih koeficijenata.

Na isti način se može tražiti optimalno rješenje za različite ulazne podatke. Programski sustav će ponuditi listu rješenja na osnovu kriterija s kojim radi, a na osnovu liste rješenja konstruktor može izabrati odgovarajuću varijantu pretvarača rukovodeći se i kriterijima koji nisu ugrađeni u logiku programskog sustava.

## 9. ZAKLJUČAK

U ovom radu su pretežno razmatrani dvovodilni planetni pretvarači koji omogućuju dvobrzinske pogone. Razmatrani dvovodilni pretvarači su sastavljeni od dva jednostavna planetna pretvarača tipa 1UV koji su u radu nazivani *planetni slogovi*. Budući da je planetni slog tipa 1UV osnovni gradbeni element ovdje obrađivanih planetnih pretvarača odmah poslije uvodnih izlaganja iznijete su njegove osnove potrebne za daljnje praćenje rada.

U ishodištu rada se pošlo od činjenice da pretvarači s dva spojna i četiri vanjska vratila mogu ostvariti dvobrzinske pogone, ako se na dva vanjska vratila montiraju kočnice koje izmjeničnim uključivanjem mijenjaju reaktivni član pa time i energetske tokove u pretvaraču što ima za posljedicu promjenu prijenosnog omjera.

Zbog relativno velikog broja mogućih varijanti pretvarača definiran je sustav označavanja koji omogućuje točno određivanje strukture pretvarača, položaj pogonskog i radnog stroja na pretvaraču, raspored kočnica i trenutno aktivnu kočnicu. Identificirane su izomorfne varijante različitih alfanumeričkih oznaka i utvrđen je točan broj različitih varijanti pretvarača.

Izvedene su funkcije prijenosnog omjera za obje brzine za sve varijante pretvarača. Pomoću njih je kod svake varijante određen utjecaj omjera broja zubi vijenca i broja zubi sunčanog zupčanika planetnih slogova na prijenosni omjer pretvarača u obje brzine. Izvedene funkcije prijenosnih omjera pokazuju da se kod nekih varijanti u obje brzine javlja redukcija brzine vrtnje, kod nekih se varijanti u jednoj brzini javlja redukcija, a u drugoj brzini multiplikacija. Kod nekih varijanti se izmjenom brzine mijenja smjer rotacije izlaznog vratila, a kod nekih ostaje nepromijenjen. Kod nekih varijanti omjeri brojeva zubi imaju utjecaj na režim rada (redukcija, multiplikacija, smjer rotacije izlaznog vratila). Izvršena je klasifikacija varijanti prema navedenim kinematičkim karakteristikama.

Određene su kinematičke mjenjačke mogućnosti svake varijante ponaosob. Za svaku varijantu je generiran graf koji prikazuje s kojim parovima prijenosnih omjera ista može raditi. Grafovi prikazuju utjecaj strukture na mjenjačke mogućnosti svake varijante. Za svaku varijantu su na osnovu funkcija prijenosnih omjera izvedeni izrazi pomoću kojih se mogu odrediti idealni momentni omjeri planetnih slogova za svaku moguću kombinaciju prijenosnih omjera. Ovi grafovi s navedenim izrazima su osnova za sintezu dvobrzinskih planetnih pretvarača. Pomoću njih je moguće identificirati varijante pretvarača s kojim se mogu ostvariti zahtijevani prijenosni omjeri te na osnovu navedenih izraza odrediti potrebne brojeve zubi zupčanika pretvarača.

Koncipirane su kinematičke sheme koje daju uvid u raspored zupčanika i vratila varijante. Naime, sam simbolički prikaz ne daje uvid u prostorni raspored konstrukcijskih elemenata pretvarača pa je moguće da neke strukture nisu primjenjive. Ove kinematičke (konceptijske) sheme daju polaznu osnovu za osnivanje konstrukcije dvobrzinskog pretvarača. Identificirane su varijante pretvarača kod kojih nije moguć razmještaj ulaznog i izlaznog vratila sa suprotnih strana pretvarača.

Određene su ekstremne vrijednosti skokova prijenosa različitih varijanti pretvarača te su za ekstremne vrijednosti određene pripadne vrijednosti idealnih momentnih omjera planetnih slogova i pripadne vrijednosti prijenosnog omjera u obije brzine.

Razmatranjem sve tri skupine varijanti pretvarača identificirane su varijante koje s aspekta veličine ostvarivih prijenosnih omjera mogu imati široku primjenu u praksi. Kod njih se u jednoj brzini može ostvariti relativno velik raspon prijenosnog omjera koji uz određene parametre prema svom intenzitetu može biti relativno velik. Njihove mjenjačke mogućnosti su posebno prikazane u radu. Te varijante su: S13V1, S14V1, S15V1, S16V1, S13V3, S14V2, S15V2 i S16V3.

Identificirane su sheme koje pri određenim varijantama razmještaja (rasporeda kočnica, pogonskog i radnog stroja) uz određene parametre mogu ostvariti vrlo visoke vrijednosti skokova prijenosa. To su sheme S34, S35 i S56. Maksimalne vrijednosti skokova prijenosa kod tih shema mogu biti od 143 do 169.

Kod analize karakteristika energetske efikasnosti pretvarača definiran je pojam ekvivalentnog stupnja iskoristivosti koji je relevantan pokazatelj kakvoće efikasnosti pretvorbe energetskih parametara kod mjenjačkih pretvarača. Određeni su smjerovi relativnih energetskih tokova na planetnim slogovima kod svih varijanti u obje brzine čime je stvorena osnova za izvođenje funkcija stupnjeva iskoristivosti složenih pretvarača. Kod svih varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima određene su orijentacijske ekstremne vrijednosti stupnja iskoristivosti. Pokazalo se da sve varijante ove skupine u obje brzine imaju sličan trend promjene stupnja iskoristivosti. Naime, kod svih tih varijanti se neovisno o brzini u kojoj rade povećanjem idealnih momentnih omjera planetnih slogova povećava stupanj iskoristivosti.

Kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu u brzini u kojoj rade aktivno oba planetna sloga (brzina Br2) funkcija stupnja iskoristivosti ima četiri nezavisne varijable ( $t_1$ ,  $t_{II}$ ,  $\eta_{0I}$ ,  $\eta_{0II}$ ). Kod ovih pretvarača se smjer energetskog toka kod nekih varijanti mijenja ovisno o međusobnoj vrijednosti idealnih momentnih omjera pa ista varijanta za istu brzinu ima dvije različite funkcije stupnja iskoristivosti. Za sve varijante

ove skupine su određene orijentacijske ekstremne vrijednosti stupnja iskoristivosti u brzini Br2.

U Prilogu 1 su za sve varijante određeni aktivni i eventualno jalovi energetski tokovi. Identificirane su varijante pretvarača kod kojih se javlja grananje energetskog toka i kod kojih se javlja jalov energetski tok. Za sve varijante kojima je imanentna jalova snaga su određene ekstremne vrijednosti specifične jalone snage. Utvrđeno je da varijante S11V4, S11V5, S33V4, S33V5, S55V4 i S55V5 mogu imati izrazito visoku vrijednost jalone snage. Identificirane su karakteristične varijante kod kojih se u brzini Br2 povećanjem prijenosnog omjera stupanj iskoristivosti smanjuje. To su varijante S11V4, S11V5, S33V4, S33V5, S55V4 i S55V5 i one imaju karakterističan graf funkcije stupnja iskoristivosti. Približavanjem vrijednosti idealnih momentnih omjera stupanj iskoristivosti se smanjuje i kod jednakih idealnih momentnih omjera on je jednak nuli. Identificirane su karakteristične varijante kod kojih se u brzini Br2 povećanjem prijenosnog omjera stupanj iskoristivosti povećava. To su varijante S13V3, S14V2, S15V2 i S16V3.

Utvrđeno je da se funkcije stupnjeva iskoristivosti međusobno inverzni varijanti razlikuju, ali su numerički primjeri pokazali da su vrijednosti tih funkcija neovisno o argumentima praktički jednake što znači da funkcija stupnja iskoristivosti za proizvoljnu brzinu proizvoljne varijante praktično vrijedi i za njoj inverznu varijantu.

Analizom funkcija prijenosnih omjera varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu je utvrđeno da postoje pretvarači različitih struktura koji imaju jednakе funkcije prijenosnih omjera u brzini Br2. Dalnjom analizom je utvrđeno da takvi pretvarači imaju i jednakе smjerove relativnih energetskih tokova na planetnim sloganima u brzini Br2. To znači da oni imaju i jednakе funkcije stupnja iskoristivosti u brzini Br2. Zanimljivo je što se pokazalo da su po tom pitanju neke varijante s imanentnom jalovom snagom ekvivalentne varijantama kojim jalova snaga nije imanentna. To dokazuje da i kod shema s jalovom snagom postoji s aspekta iskoristivosti jednak kvalitetne varijante varijantama bez jalone snage.

Naglašena je važnost i prikazan način određivanja utjecaja relativnog stupnja iskoristivosti pojedinog planetnog sloga na ukupni stupanj iskoristivosti kod pretvarača kod kojih su prvotno utvrđeni idealni momentni omjeri planetnih sloganova. Poznavanje utjecaja relativnih stupnjeva iskoristivosti planetnih sloganova na ukupni stupanj iskoristivosti može doprinijeti kvaliteti konstrukcije jer ukazuje na planetni slog kojem treba posvetiti veću pažnju.

U Prilogu 1 su izvedeni brojni izrazi za određivanje stupnja iskoristivosti planetnih pretvarača. Da bi se potvrdila vjerodostojnost tih izraza proveden je eksperiment na eksperimentalnom pretvaraču oznake S55V5. Pošlo se od funkcija stupnja iskoristivosti za obje brzine tog pretvarača. Statičkom metodom su izmjereni stupnjevi iskoristivosti planetnih slogova ponaosob i stupnjevi iskoristivosti pretvarača u obje brzine. Uvrštene su izmjerene vrijednosti u jednadžbe za stupnjeve iskoristivosti i provedena je analiza rezultata. Eksperiment je pokazao dobro slaganje eksperimentalnih rezultata s matematičko-mehaničkim modelom te je dokazao ispravnost provjeravanih matematičko-mehaničkih modela.

Proведен je i eksperiment određivanja stupnja iskoristivosti na pretvaraču S15V1Br2. Cilj eksperimenta je bio odrediti stupanj iskoristivosti pretvarača i usporediti ga s teorijski dobivenim vrijednostima. Mjerenje je izvedeno na ispitnom stolu s otvorenim tokom snage. Dobiveni rezultati pokazuju da je usklađenost teorijski dobivenih vrijednosti i eksperimentom određenih vrijednosti veća kod većeg opterećenja reduktora. Provedena je usporedba rezultata eksperimenta sa sličnim eksperimentom provedenim od drugog autora i utvrđena je sličnost trendova promjene stupnja iskoristivosti. Na usporednom eksperimentu (od drugog autora) je provođeno mjerenje na većem pretvaraču pri većim opterećenjima i tu se dobila manja razlika između teorijskih i eksperimentalnih rezultata.

Definiran je pojam specifične relativne brzine vrtnje satelita. Prikazan je postupak dobivanja specifične relativne brzine vrtnje satelita kao funkcije idealnih momentnih omjera. Pomoću razvijenog programskog sustava su za većinu varijanti pretvarača određene donja i gornja granica intervala unutar kojih se nalaze specifične relativne brzine vrtnje satelita oba planetna sloga uz aktivnu jednu i drugu kočnicu. Ovim su identificirane varijante pretvarača kod kojih je moguća pojava relativno velikih specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita. Utvrđeno je da se kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima neprihvatljive specifične relativne brzine vrtnje satelita mogu pojaviti samo na planetnim sloganima koji rade u praznom hodu (neopterećeni). Utvrđeno je da se kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu, koji u brzini Br2 rade pretežno u reduktorskome režimu rada, povećane specifične relativne brzine vrtnje satelita mogu pojaviti samo kod neopterećenih planetnih sloganova kod svih varijanti osim kod S33V5 i S55V4 kod kojih se mogu pojaviti i kod opterećenih planetnih sloganova. Kod varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima u obje brzine su oba planetna sloga opterećena i kod nekih varijanti relativne brzine vrtnje satelita mogu biti znatno visoke.

Pokazano je da su za dimenzioniranje planetnih slogova relevantni momenti na sunčanim zupčanicima. Na osnovu provedene strukturne analize određeni su specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih slogova za sve varijante pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu koje u brzini Br2 rade pretežno u reduktorskom režimu rada. Također su određeni specifični momenti na sunčanim zupčanicima za sve varijante pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima i za sve varijante pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima. Ovi izrazi omogućuju dimenzioniranje zupčanika planetnih slogova pretvarača te usporednu računalnu analizu pretvarača prema dimenzijama planetnih slogova.

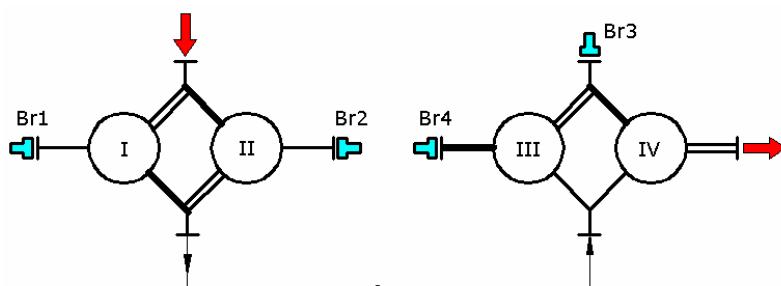
Razvijen je programski sustav koji omogućuje analizu, sintezu te ocjenu rješenja i optimalni izbor varijante s pripadnim osnovnim parametrima. Opisana je metodika na osnovu koje programski sustav generira rješenja. Programski sustav omogućuje optimalni izbor varijante pretvarača prema više relevantnih kriterija od kojih su najvažniji radikalni gabariti odnosno masa svih zupčanika u pretvaraču i ekvivalentni stupanj iskoristivosti. Pomoću razvijenog programa je moguće na osnovu zahtijevanih prijenosnih omjera te ostalih relevantnih ulaznih podataka dobiti prioritetu listu varijanti (s pripadnim osnovnim parametrima) koje mogu zadovoljiti postavljene zahtjeve. Podsustav za analizu razvijenog programskog sustava omogućuje generiranje skupova podataka o karakteristikama razmatranih varijanti pretvarača što je osnova za njihovu znanstvenu analizu. Moduli za sintezu i optimalni izbor pružaju konstruktoru veliku pomoć u osnivanju kvalitetnog pretvarača. Zbog toga razvijeni programski sustav daje znanstveni i praktični doprinos u području dvovodilnih pretvarača.

Zaključno bi se moglo reći da znanstveni doprinos ovog rada predstavlja sustavno istraženi utjecaj raznih strukturnih shema (varijantni pretvarača) s pripadnim parametrima (idealnim momentnim omjerima) na njihove osnovne karakteristike.

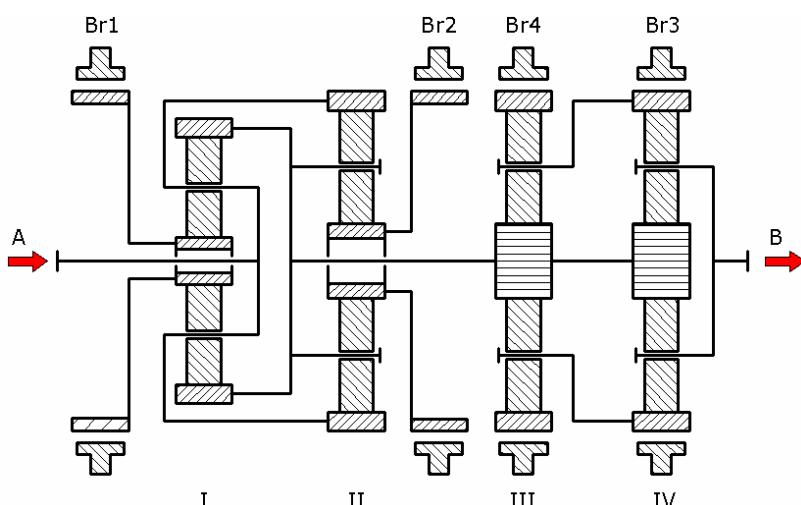
Daljnja istraživanja bi mogla biti usmjerena na detaljniju analizu varijanti pretvarača koje su se na osnovu svojih mjenjačkih karakteristika pokazale zanimljive za praksu. To su prvenstveno slijedeće varijante: S13V1, S14V1, S15V1, S16V1, S13V3, S14V2, S15V2 i S16V3. Bilo bi korisno podrobnije istražiti mogućnost njihove praktične izvedbe tj. istražiti konstrukcijsku problematiku svake od varijanti. Mogli bi se napraviti parametarski 3D modeli gotovih pretvarača te na osnovu njih analizirati utjecaj osnovnih parametara planetnih slogova na dimenzije i masu pretvarača. Na osnovu poznatih konstrukcijskih parametara na gotovim modelima bi se mogao razviti precizniji model procjene stupnja iskoristivosti koji bi

uzimao u obzir više parametara. Parametarsko CAD modeliranje ovih varijanti pretvarača bi omogućilo i razne ekonomske kalkulacije.

U sklopu ovog rada je razvijen programski sustav koji između ostalog omogućuje izbor dvobrzinskog pretvarača. Serijskim spajanjem dvaju dvovodilnih dvobrzinskih pretvarača bi se dobili pretvarački sustavi sastavljeni od dva planetna dvosloga kojima bi se upravljalo s četiri kočnice. Ovakvi pretvarači bi omogućili ostvarenje četiri brzine. Ukoliko bi se po potrebi pomoću ugrađenih spojki mogao blokirati svaki od dvosloga, broj ostvarivih brzina ovakvih pretvaračkih sustava bi mogao biti i devet. Vrlo korisno bi bilo razviti programski sustav za sintezu i optimalni izbor takvog višebrzinskog sustava pri čemu bi polazna osnova mogao biti algoritam programskog sustava razvijenog u ovom radu. Na sl. 9.1 je prikazana simbolička shema jednog pretvaračkog sustava s mogućnosti ostvarenja četiri brzine, a na sl. 9.2 je prikazana njegova konstrukcijska koncepcija.

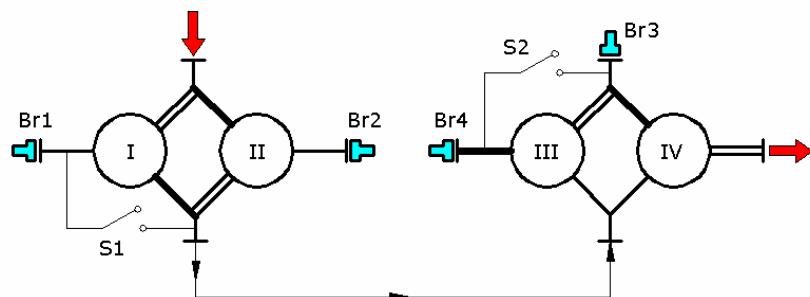


Sl. 9.1 Simbolički prikaz mogućeg 4-brzinskog sustava

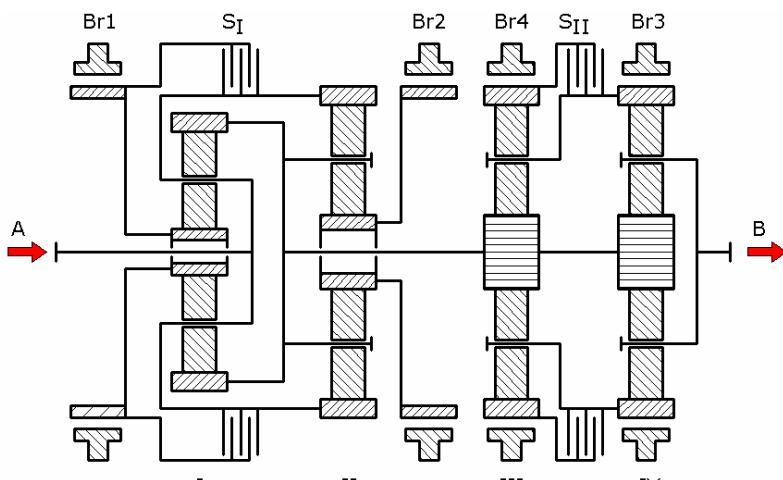


Sl. 9.2 Konstrukcijska koncepcija mogućeg 4-brzinskog sustava

Na sl. 9.3 je prikazana simbolička shema mogućeg 9-brzinskog sustava, a na sl. 9.4 koncepcija shema toga 9-brzinskog sustava.



Sl. 9.3 Simbolički prikaz mogućeg 9-brzinskog sustava



Sl. 9.4 Koncepcijska shema mogućeg 9-brzinskog sustava

Istraživanja provedena u ovom radu bi se mogla nastaviti još u raznim smjerovima, a najbolje bi bilo kada bi nastavak istraživanja bio u skladu s potrebama industrijske prakse.



## POPIS LITERATURE

- [1] Pantić, M.: *Gubici snage u ozubljenju kao parametar za formiranje optimalne kinematske šeme planetarnih prenosnika primenjenih u sistemu za prenos snage motornih vozila*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1997.
- [2] Karaivanov D.: *Theoretical and experimental studies of the influence of the structure of the coupled two-carrier planetary gear trains on its basic parameters* [dissertation], Univ. of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, 2000.
- [3] Tanasijević, S., Vulić, A.: *Mehanički prenosnici - planetarni prenosnici*, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- [4] Marjanović, N.: *Optimizacija zupčastih prenosnika snage sa stalnim položajem osa vratila*, doktorska disertacija, Kragujevac, 1997.
- [5] Stevanović-Marinović, J.: *Višekriterijumska optimizacija zupčastih parova planetarnih prenosnika*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2008.
- [6] Henriot, G.: *Gear and Planetary Gear Trains*, Brevini, Italy, 1993.
- [7] Leistner, F., Lörsch, G., Wilhelm, O.: *Umlaufrädergetriebe*, 3. Auflage, Berlin, VEB Verlag Technik 1987.
- [8] Looman, J.: *Zahnradgetriebe*, 3. Auflage, Berlin, Springer-Verlag, 1996.
- [9] Lynwander, P.: *Gear Drive Systems*, New York, Marcel Dekker, 1983.
- [10] Molian, S.: *Mechanisms Design*, Cambridge University Press, 1982.
- [11] Müller, H. W.: *Umlaufrädergetriebe, Auslegung und vielseitige anwendungen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- [12] Müller, H. W.: *Epicyclic Drive Trains*, Detroit, Mitch., Wayne State University Press, 1983.
- [13] Wolf, A.: *Die Grundlagen der Umlaufgetriebe*. Braunschweig: Friedr. Vieweg Sohn 1958.
- [14] Wagner, G.: *Planetengerüste*, Europäisches Patent
- [15] Арнаудов, К., Бинев, А., Ценов, П.: *Распределение на натоварването в многосателитните эъби и предавки-специфичен и кардинален тяхен проблем*, Национален научно-практически симпозиум "Планетни предавки '87", Перник, 17-18 септември 1987.
- [16] *Planetary gears*, Handbook, Edit by V. N. Kudriavtsev and I. N. Kirdiashev. Mashinostroenie, Leningrad. (1977)

- [17] Döbröczoni, A.: *Load distribution in planetary gear drives*, Proc. Int. Conf. Motion and Power Transmiss., Hiroshima, Nov. 23-26, 1991, pp. 739.
- [18] Mierzejewski, W., Szopa, T.: *Loads of Planet Wheels in Planetary Gears*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol.115, 1993, No.4.
- [19] Айрапетов, З.Л.: *Динамическое нагружение многорадиальных передач зацеплением*, Вестник машиностроения, 1991, No 8, с. 18-21.; No 9, с. 9-18.
- [20] Baghat, B.M., Osman, M.D.M., Dukkipati, R.V., *On the Dynamic Gear Tooth Loading of Planetary Gearing as Affected by Bearing Clearance in High-Speed Machinery*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 107, 1985., No. 3, pp. 430-436.
- [21] Cunlife, F., Smith, J.D., Welbourn, D.B.: *Dynamic Tooth Loads in Epicyclic Gears*, Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Industry, 1974., pp. 578-584.
- [22] Kahraman, A.: *Planetary Gear Train Dynamics*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 119, 1994, No. 3, pp. 713-720.
- [23] Peeken, H., Troeder, C., Antony, G.: *Schwingungsverhalten von Planetengetrieben*, Konstruktion, 37, 1985, Nr. 11, S. 417-421.
- [24] Saada, A., Velex, P.: *An Extended Model for the Analysis of the Dynamic Behavior of Planetary Trains*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 117, 1995, No. 2, pp. 241-247.
- [25] Anderson, N.E., Loewenthal, S.H., Black, J.D.: *An Analytical Method to Predict Efficiency of Aircraft Gearboxes*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 108, 1986, No. 3, pp. 424-432.
- [26] Basedow, G.: *Wirkungsgrad und Selbsthemung von Planetengetrieben*, Antriebstechnik, 23, 1984, Nr. 1, S. 41-46.
- [27] Marshford, K.J.: *Efficiency of planetary gear trains*, Proc. Conf. Mechanisms and Machinery, Carnfield Inst. Technol., 17-18 Sept. 1985, pp. 13-41.
- [28] Pennestri, E. Freudenstein, F.: *The Mechanical Efficiency of Epicyclic Gear Trains*, Transactions of the ASME. Journal of Mechanical Design, Vol. 115, 1993, No. 3.
- [29] Anderson, N.E., Loewenthal, S.H.: *Effect of Geometry and Operating Conditions on Spur Gear System Power Loss*, NASA TM 81426, August 1980.
- [30] Schoo, A.: *Verzahnungsverlustleistungen in Planetengetrieben*. Dissertation, Ruhr Universitaet, Bochum, 1985.
- [31] Dawson, P.H. *Windage Loss in High-Speed Gears*, Proc. Int. Mech. Eng. v 198 A no. 1, 1984.

- [32] Arnaudov, K.: *Experimental determination of the efficiency of planetary gears*, Proceedings of the AUSTRIB'94 "Frontiers in tribology", Perth, Australia, 1994.
- [33] Jarchow, F.: *Entwicklungsstand bei Planetenradgetrieben*, Jugoslovenski naučnostručni skup, Nauka i istraživanje elemenata, Beograd maj 14-16, 1987.
- [34] Ishibashi, A., Sonoda, K., Maenso, K.: *Comparison of speed increase and speed reduction efficiencies of differential gear drives* (1-st report), Transactions of Japan society of mechanical engineers, No. 59C 02, 1996.
- [35] Гороховский, Д.В.: *Оптимизация двухступенчатых зубчатых передач с паралельными валами*, Вестник машиностроения, 1999, No. 7, с. 25-28.
- [36] Howisis, S.: *Wisserbasierte Unterstutzung der Konstruktion und Fertigungsplanung von Stirnradgetrieben*, Maschine, Vol. 46, 1992, Nr. 6, S. 65-68.
- [37] Shinn-Liang, Ch., Chung-Bian, T.: *Kinematic Optimization of a Modified Helical Gear Trains*, Transactions of ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 119, 1997, No. 2, pp. 307-314.
- [38] Moeser, H.: *Uebersetzungsaufteilung bei mehrstufigen Getrieben*, Maschinenbautechnik, 31, 1982, Nr. 4, S. 171-173.
- [39] Roa, S.: *Multiobjective Optimization in Structural Design with Stochastic Processes*, AIAA Journal, Vol.22, 1984, pp. 1670-1678.
- [40] Roa, S.S., Eslampour, H.R.: *Multistage multiobjective optimization of gearboxes*, Transactions of the ASME. Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, Vol. 108, 1986, No. 4, pp. 461-468.
- [41] Димчев, Г., Търнев, В.: *Оптимизация на конструкцията на едностъпални цилиндрични тежки редуктори по технологичен критерий*, Юбилейна научна сесия ВМЕИ-В.И.Ленин, София, 25-27 септември 1985.
- [42] Hentzschel, K.: *Lebensdauerorientierte Auslegung von Planetengetrieben*, Национален научно-практически симпозиум "Планетни предавки '87", Перник, 17-18 септември 1987.
- [43] Savage, M.; Rubadeux, K.L., Coe, H.H.: *Effects of Planetary Speed-Reduction Ratio on Mean Service Life*, Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 120, 1998, No. 1, pp. 113-118.
- [44] Arnaudow, K.: *Einfaches Verfahren zur Ermittlung des Übersetzungsverhältnisses zusammengesetzter Planetengetriebe*, VDI-Berichte 1230 (International Conference on Gears, Dresden, 1996). Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1996, pp. 313-324
- [45] Dleg, J.: *Epicyclic gears design, principles, adventages and limitations*, Proc. Int. Conf. Gear., Zhengzhon, 5-10. Nov. 1988., Vol 2, pp. 873-876.
- [46] Mueller, H.W.: *Wirkungsgradberechnung von Planetengetrieben*, Antriebstechnik, 34, 1996, Nr. 3, S. 90-92.

- [47] Arnaudow, K., Karaivanov, D.: *Die Blindleistung in Planetengetrieben*, Proceedings of the Conference on Research and Development of Machine Elements and Sistems IMRES'04. Kragujevac, (SCG), 16. i 17. September 2004, pp. 587 – 594.
- [48] Arnaudow, K., Karaivanov, D.: *Die zusammengesetzten Mehrsteg-Planetendetriebe, ihre Systematik, Eigenschaften und Möglichkeiten*, Internationale Tagung “Antriebstechnik’03”, Varna, Bulgarien, 2003, pp. 52-59
- [49] Караванов, Д.: *Върху сравнителния анализ на многостъпални редуктори за телферостроенето*, HCTech'2000, София, 6 – 8 юни 2000.
- [50] Karaivanov, D., Arnaudow, K.: *Die Zusammengesetzten Mehrsteg-Planetengetriebe und ihre Gesetzmäßigkeiten*, Zbornik radova sa Naučno-stručnog skupa Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema JAHRINA – IRMES’2002, 1/2, Sarajevo - Jahorina, 19. i 20. September 2002, 19 – 26
- [51] Karaivanov D.: *Multy-parametric choice of two-stage planetary gear*, Proceedings of the “Technology, Assurance, Ecology” 21–22 June 2001, V. Tarnovo, pp. 49 – 59.
- [52] Dahterova, D.: *Optimal design of the universal driving devices*. [dissertation]. Technical University - Sofia, 2005.
- [53] Stoyanov, S. K.: *Optimization of Technological Objects*. Sofia, Technika, 1983.
- [54] Rosić, B.: *Planetarni prenosnici – unutrašnji cilindrični parovi*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.
- [55] Rosić, B.: *Multicriterion Optimization of Multistage Gear Train Transmission*, Facta Universitatis, series: Mechanicl Engineering Vol.1, N08, 2001, pp. 1107-1115.
- [56] Paskaleva K., *Automated analysis and synthesis in designing epicyclic gear mechanisms* [dissertation]. Technical University - Sofia, 2001.
- [57] Arnaudow, K., Karaivanov, D.: *Systematik, Eigenschaften und Möglichkeiten von zusammengesetzten Mehrsteg-Planetengetrieben*. “Antriebstechnik” (2005) 5, pp. 58-65.
- [58] Bolotovskii, I. A., Artoshchenko, L. A., Vasileva, O. F. at all: *Three-stages planetary gear trains with one-body satellites*. “Vestnik mashinostroenia”, 2001, № 1, pp. 3 – 7. (in Russian)
- [59] Karaivanov, D., Troha, S.: *Examining the possibilities for using coupled two-carrier planetary gears in two-speed mechanical transmissions*, Machinebuilding and electrical engineering, 2006, Nr. 5 – 6, pp. 124 – 127.
- [60] Иванов, А.Н.: *Оценка диаметральных габаритных размеров планетарных коробок передач на стадии проектирования*, Вестник машиностроения, 1990, № 7, с. 16 – 19

- [61] Lechner, G., Naunheimer, H.: *Automotive Transmissions*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1999.
- [62] Troha S., Petrov P., Karaivanov, D.: *Regarding the optimization of coupled two-carrier planetary gears with two coupled and four external shafts*, Machinebuilding and electrical engineering, 2009, Nr. 1, pp. 49 – 56.
- [63] Troha, S., Karaivanov, D.: *Determining the Manufacturing Quality of Planetary Gear Trains Trough Static Eexperiments*. Proceedings of the 22th Int. Conf. Science and Motor Vehicles 2009, 14-16 April 2009, Belgrade, Serbia
- [64] Troha, S; Karaivanov, D.: *Experimental determination of losses in planetary gears by means of static loading*, Proceedings of the International Conf., AMO'Kranevo, 2008. pp. 209-215
- [65] Predki, W., Jarhov, F., Kettler J.: *Calculation method for the determination of the oilsump temperature of industrial planetary gears*, International Conference on Gears, V. 1, 13-15 March 2002, Munich, VDI-Berichte 1665, pp. 507-522
- [66] Karaivanov, D., Arnaudov, K.: *Experimental determination of a coupled two-carrier planetary gear's efficiency*, Proceedings of the "Power Transmissions'03", 11-12 September Varna, 2003, v. 3, pp. 82-86
- [67] Arnaudov, K., Karaivanov, D.: *Raum und Massesparende Zahnradgetriebe*, Zbornik radova sa Trećeg skupa konstruisanje, oblikovanje, dizajn KOD, Novi Sad, 2004, str. 73 –78.
- [68] Karaivanov, D., Troha, S.: *On the structural Analysis of Coupled Planetary Gears*, Machinebuilding and electrical engineering, 2005, Special edition – science edition 9, pp. 76 – 83.
- [69] Opalić, M.: *Prijenosnici snage i gibanja*, Hrvatsko društvo za elemente strojeva i konstrukcije, Zagreb, 1998.
- [70] Orlić, Ž., Orlić, G.: *Planetni prijenosi*, Zigo, Rijeka, 2006.
- [71] Živković, P., Ognjanović, M.: *Experimental Determination of Losses and Planetary Gear Set Efficiency Coefficient*. Journal of Mechanical Engineering Design, 2000, No. 1, pp. 21–28.
- [72] Looman, J. *Planetengetriebe. Das Kernstueck automatischer Fahrzeuggetriebe*, Tagung Zahnradgetriebe, Dresden, 6-8 November 1989.
- [73] Volmer, J., Leistner, F., Loersch, G., Wilhelm, O.: *Getriebetechnik-Umlaufraedgetriebe*, WEB Verlag Technik, Berlin, 1978.
- [74] Muždeka, S.: *Structural Analisis of Compound Planetary Gear Trains*, Vojnotehnički glasnik, 2005, No.2, pp. 178-195
- [75] Muždeka, S.: *One Method of Analysis of Compound Planetary Gear Trains*, Tehnička dijagnostika, 2005, No.1, pp. 47-54

- [76] *Epicyclic Gear Train.* Epicyclic Gear Train Experimental Lab, ME-372 Mechanical Design II, pp. 1-5, S2007, GR.
- [77] Karaivanov,, D.; Troha, S; Pavlova, R.: *Experimental study of the losses in a three-stage planetary gear train*, Proceedings of the 3rd International Conference Power Transmissions'09, Thessaloniki, 2009, pp. 527-532
- [78] Dimchev, G.: *Изследване на тежки редуктори*. Хабилитационен труд. ТУ София, 2003
- [79] Vulić, A., Stefanovic-Marinovic J.: *Defining the mathematical model for optimization of planetary gear transmission*, Proceedings of the IRMES'04, 16-17 September 2004, Kragujevac, pp. 643-648.
- [80] Blessing, L., Meyer-Eschenbach, A.: *Konstruktionstechnik und Entwicklungsmeodik*, Fakultaet V – Verkehrs und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, VL KL III, SS, 2006.
- [81] DIN 3990, *Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern*, Beuth-Verlag, Berlin, 1987.
- [82] ISO 6336, *Calculation of load capacity of spur and helical gears*, Geneva, 2006.

## POPIS OZNAKA I INDEKSA

A	- ulazno vratilo
<i>A</i>	- čelna površina zupčanika, $m^2$
<i>a</i>	- koeficijent debljine vijenca
<i>b</i>	- širina zupčanika, mm
<i>b<sub>w</sub></i>	- aktivna širina zupčanika, mm
$\left( \frac{b_w}{d_1} \right)$	- relativna radna širina zubi u zahvatu
$\left( \frac{b_F}{d} \right)$	- relativna radna širina zupčanika kod proračuna zubi na savijanje
B	- izlazno vratilo
Br	- kočnica
Br1	- kočnica 1
Br2	- kočnica 2
C	- dinamička nosivost ležaja satelita, kN
<i>d</i>	- diobeni promjer
<i>d<sub>3m</sub></i>	- diobeni promjer vijenca manjih radijalnih gabarita
<i>d<sub>3v</sub></i>	- diobeni promjer vijenca većih radijalnih gabarita
e	- relativni energetski tok od sunčanog zupčanika prema vijencu
E	- relativni energetski tok od vijenca prema sunčanom zupčaniku
F	- sila, N
$\overline{F}_k$	- srednja sila na poluzi kočnice, N
<i>f<sub>i</sub></i>	- trenutna vrijednost funkcije primjenjivanog kriterija s minimumom
<i>f<sub>j</sub></i>	- trenutna vrijednost funkcije primjenjivanog kriterija s maksimumom
<i>f<sub>max</sub></i>	- maksimalna vrijednost razmatranog kriterija
<i>f<sub>min</sub></i>	- minimalna vrijednost razmatranog kriterija
<i>i</i>	- kinematički prijenosni omjer
<i>i<sub>T</sub></i>	- energetski prijenosni omjer
<i>i<sub>Br1</sub></i>	- kinematički prijenosni omjer s kočnicom Br1
<i>i<sub>Br2</sub></i>	- kinematički prijenosni omjer s kočnicom Br2
<i>K<sub>A</sub></i>	- faktor primjene

$K_v$	- faktor dodatnih dinamičkih opterećenja
$K_{H\alpha}$	- faktor raspodjele opterećenja na par zubi u zahvatu
$K_{H\beta}$	- faktor raspodjele opterećenja uzduž boka zuba
$K_\gamma$	- faktor neravnomjernog opterećenja satelita
$k$	- broj satelita u planetnom slogu
$k_B$	- koeficijent koji uzima u obzir gubitke u ležajevima satelita
$k_S$	- koeficijent koji uzima u obzir gubitke u brtvama
$k_C$	- koeficijent koji uzima u obzir gubitke zbog bućanja ulja
$k_i$	- bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s minimumom
$k_j$	- bezdimenzijska vrijednost pojedinog kriterija s maksimumom
$m$	- srednja vrijednost
$m$	- orijentacijska masa svih zupčanika planetnog sloga, kg
$m_n$	- normalni modul ozubljenja
$n$	- brzina vrtnje, $\text{min}^{-1}$
$n_A$	- brzina vrtnje ulaznog vratila pretvarača, $\text{min}^{-1}$
$n_{\text{mot}}$	- brzina vrtnje pogonskog stroja (motora), $\text{min}^{-1}$
$n_{2r}$	- relativna brzina vrtnje satelita, $\text{min}^{-1}$
$n_{2rs}$	- specifična relativna brzina vrtnje satelita
$n_{2rdop}$	- maksimalna dopuštena vrijednost relativne brzine satelita, $\text{min}^{-1}$
$n_{2rsdop}$	- maksimalna dopuštena vrijednost specifične relativne brzine satelita
$P_1$	- snaga na vratilu sunčanog zupčanika, W
$P_A$	- snaga na ulazu u pretvarač, W
$P_J$	- jalova snaga, W
$P_W$	- relativna snaga, W
$p_v$	- redni broj varijante koja učestvuje u procesu optimalnog izbora
$r_V$	- razmak središnje osi i osi satelita, mm
S	- shema
$S_{F_{\text{min}}}$	- koeficijent sigurnosti na lom zubi
$S_G$	- stupanj slobode gibanja

$S_{H\min}$	- faktor sigurnosti boka zuba (sigurnost na pitting)
$S_p$	- skok prijenosa
$T$	- torzijski moment, Nm
$T_1$	- nazivni torzijski moment na vratilu sunčanog zupčanika, Nm;
$T_{II}$	- torzijski moment na vratilu sunčanog zupčanika prvog planetnog sloga, Nm
$T_{III}$	- torzijski moment na vratilu sunčanog zupčanika drugog planetnog sloga, Nm
$T_A$	- torzijski moment na ulaznom vratilu pretvarača, Nm
$\bar{T}_A$	- srednji moment na ulaznom vratilu pretvarača, Nm
$T_B$	- torzijski moment na izlaznom vratilu pretvarača, Nm
$T_{Br}$	- torzijski moment na vratilu reakcijskog člana, Nm
$T_D$	- diferencijalni moment, Nm
$T_{izl}$	- torzijski moment na izlaznom vratilu pretvarača, Nm
$T_{ul}$	- torzijski moment na ulaznom vratilu pretvarača, Nm
$T_\Sigma$	- sumarni moment, Nm
$t$	- idealni momentni omjer planetnog sloga
$t^*$	- optimalna vrijednost idealnog momentnog omjera
$t_I$	- idealni momentni omjer prvog planetnog sloga
$t_{II}$	- idealni momentni omjer drugog planetnog sloga
$u$	- unutrašnji prijenosni omjer planetnog sloga
$V$	- varijanta
$Y_B$	- faktor koji uzima u obzir utjecaj debljine vijenca zupčanika $s_R$
$Y_{FS}$	- faktor koji uzima u obzir oblik zuba i koncentraciju naprezanja
$Y_{NT}$	- faktor povećanja trajnosti korijena zuba
$Y_{RrelT}$	- faktor hrapavosti prijelaznog dijela korijena zuba
$Y_x$	- faktor izmjera zupčanika
$Y_\beta$	- faktor koji uzima u obzir nagib zubi
$Y_{\delta relT}$	- faktor osjetljivosti materijala na koncentraciju naprezanja
$Y_e$	- faktor koji uzima u obzir prekrivanje zubi
$z$	- broj zubi

$Z_E$	- faktor elastičnosti materijala zupčanika u zahvatu
$Z$ , $Z_{gl}$	- globalna funkcija cilja
$Z_H$	- faktor zone
$Z_L$	- faktor utjecaja maziva na nosivost boka zuba
$Z_N$	- faktor trajnosti
$Z_R$	- faktor utjecaja hrapavosti boka zuba na nosivost
$Z_V$	- faktor utjecaja obodne brzine za područje trajne dinamičke čvrstoće
$Z_W$	- faktor sparivanja materijala
$Z_X$	- faktor utjecaja veličine zuba na nosivost boka zuba
$Z_\beta$	- faktor utjecaja kuta nagiba
$Z_\epsilon$	- faktor stupnja prekrivanja profila
$\alpha_{Br1}$	- udio rada pretvarača u brzini Br1
$\alpha_{Br2}$	- udio rada pretvarača u brzini Br2
$\eta$	- stupanj iskoristivosti, računski stupanj iskoristivosti
$\bar{\eta}$	- srednja vrijednost stupnja iskoristivosti
$\eta_0$	- relativni stupanj iskoristivosti planetnog sloga
$\eta_{0I}$	- relativni stupanj iskoristivosti prvog planetnog sloga
$\eta'_{0I}$	- relativni stupanj iskoristivosti prvog planetnog sloga (izmjereno)
$\eta_{0II}$	- relativni stupanj iskoristivosti drugog planetnog sloga
$\eta'_{0II}$	- relativni stupanj iskoristivosti drugog planetnog sloga (izmjereno)
$\eta_{Br1}$	- stupanj iskoristivosti pri radu s uključenom kočnicom Br1
$\eta'_{Br1}$	- stupanj iskoristivosti pri radu s uključenom kočnicom Br1 (izmjereno)
$\eta_{Br2}$	- stupanj iskoristivosti pri radu s uključenom kočnicom Br2
$\eta'_{Br2}$	- stupanj iskoristivosti pri radu s uključenom kočnicom Br2 (izmjereno)
$\eta_{ekv}$	- ekvivalentni stupanj iskoristivosti
$\eta_{uk}$	- ukupni stupanj iskoristivosti
$\eta_z$	- relativni stupanj iskoristivosti u planetnog sloga uzimajući samo gubitke u ozubljenju

$\rho$	- gustoća materijala, kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_{FE}$	- osnovna čvrstoća zubi na savijanje, MPa
$\sigma_{FP}$	- dopušteno naprezanje na savijanje, MPa
$\sigma_{H\limb}$	- trajna dinamička čvrstoća boka za odabrani čelik, MPa
$\sigma_{HP}$	- maksimalno dozvoljeno kontaktno naprezanje, MPa
$\chi_i$	- težinski koeficijent pojedinog kriterija funkcije s minimumom
$\chi_j$	- težinski koeficijent pojedinog kriterija funkcije s maksimumom
$\psi$	- faktor širine sunčanog zupčanika
$\psi_0$	- stupanj gubitaka u planetnom slogu
$\psi_z$	- stupanj gubitaka u ozubljenju planetnog sloga
$\omega$	- kutna brzina, min <sup>-1</sup>

## INDEKSI

I	- prvi planetni slog
II	- drugi planetni slog
1	- sunčani zupčanik
2	- satelit
3	- vijenac
A	- ulazno vratilo
B	- izlazno vratilo
Br	- kočnica
Br1	- kočnica 1
Br2	- kočnica 2
D	- diferencijalni član
dop	- dopušteno
max	- maksimalno
min	- minimalno
n	- normalni presjek
r	- relativno
s	- specifično
V	- vodilo

- $\Sigma$  - sumarni član
- 1V(3) - prijenos energije od sunčanog zupčanika na vodilo uz zakočeni vijenac
- V1(3) - prijenos energije od vodila na sunčani zupčanik uz zakočeni vijenac
- 13(V) - prijenos energije od sunčanog zupčanika na vijenac uz zakočeno vodilo
- 31(V) - prijenos energije od vijenca na sunčani zupčanik uz zakočeno vodilo
- 3V(1) - prijenos energije od vijenca na vodilo uz zakočeni sunčani zupčanik
- V3(1) - prijenos energije od vodila na vijenac uz zakočeni sunčani zupčanik

## POPIS SLIKA

Sl. 2.1.1	Planetni slog s njegovim osnovnim elementima .....	15
Sl. 2.3.1	Simbolički prikaz planetnog sloga.....	18
Sl. 2.4.1	Prikaz sila i momenata na planetnom slogu .....	19
Sl. 2.9.1	Vrste energetskih gubitaka u planetnom pretvaraču i načini odvođenja topline .....	28
Sl. 2.9.2	Ovisnost računskog relativnog stupnja iskoristivosti u ozubljenju planetnog sloga o broju zubi sunčanog zupčanika i idealnom momentnom omjeru .....	30
Sl. 2.11.1	Nacrt aproksimacijskog geometrijskog modela planetnog sloga .....	35
Sl. 3.1.1	Simbolički prikaz dvovodilnog planetnog pretvarača s jednim spojnim i četiri vanjska vratila .....	39
Sl. 3.1.2	Simbolički prikaz dvovodilnog planetnog pretvarača s dva spojna i tri vanjska vratila.....	40
Sl. 3.1.3	Simbolički prikaz dvovodilnog planetnog pretvarača s dva spojna i četiri vanjska vratila.....	40
Sl. 3.1.4	Slučaj rada s jednim stupnjem slobode dvovodilnog pretvarača s jednim spojnim i četiri vanjska vratila .....	41
Sl. 3.1.5	Slučaj rada s jednim stupnjem slobode dvovodilnog pretvarača s dva spojna i tri vanjska vratila .....	42
Sl. 3.1.6	Pretvarač koji se može razmatrati kao pretvarač s dva spojna i tri vanjska vratila i kao pretvarač s jednim spojnim i četiri vanjska vratila.....	43
Sl. 3.1.7	Prikaz mogućih razmještaja kočnica na dvovodilnom planetnom pretvaraču s dva spojna i četiri vanjska vratila .....	43
Sl. 3.2.1	Prikaz varijanti razmještaja kod dvovodilnih pretvarača .....	48
Sl. 3.4.1	Analiza varijante S11V2Br1.....	54
Sl. 3.4.2	Analiza varijante S11V2Br2 pri $t_I > t_{II}$ .....	54
Sl. 3.4.3	Analiza varijante S11V2Br2 pri $t_I < t_{II}$ .....	55
Sl. 4.2.1	Simbolički prikaz pretvarača s kočnicama na zasebnim vratilima.....	58
Sl. 4.2.2	Mjenjačke mogućnosti varijante S34V6 .....	66
Sl. 4.2.3	Mjenjačke mogućnosti varijante S36V6 .....	66
Sl. 4.2.4	Primjena predpretvarača za podešavanje vrijednosti prijenosnih omjera .....	67
Sl. 4.3.1	Određivanje prijenosnog omjera varijante S15V1Br1 .....	70
Sl. 4.3.2	Određivanje prijenosnog omjera varijante S15V1Br2.....	71
Sl. 4.3.3	Simbolički prikaz jednobrzinskog pretvarača varijante 15V1Br2.....	73

Sl. 4.3.4 Mjenjačke mogućnosti varijante S13V1 .....	80
Sl. 4.3.5 Mjenjačke mogućnosti varijante S14V1 .....	81
Sl. 4.3.6 Mjenjačke mogućnosti varijante S15V1 .....	82
Sl. 4.3.7 Mjenjačke mogućnosti varijante S16V1 .....	82
Sl. 4.3.8 Mjenjačke mogućnosti varijante S34V1 .....	83
Sl. 4.3.9 Mjenjačke mogućnosti varijante S36V1 .....	84
Sl. 4.4.1 Koncepcija shema dvobrzinskog planetnog pretvarača S15V2 s prikazanim energetskim tokom (rad s aktivnom kočnicom Br1) .....	88
Sl. 4.4.2 Koncepcija shema dvobrzinskog planetnog pretvarača S15V2 s prikazanim energetskim tokom (rad s aktivnom kočnicom Br2) .....	88
Sl. 4.4.3 Koncepcija shema s prikazanim energetskim tokom jednobrzinskog planetnog pretvarača S15V2Br2 .....	89
Sl. 4.4.4 Strukturna analiza varijante pretvarača S15V2 s uključenom kočnicom Br1 .....	90
Sl. 4.4.5 Strukturna analiza varijante pretvarača S15V2 s uključenom kočnicom Br2 .....	90
Sl. 4.4.6 Grafički prikaz kinematičkih mogućnosti pretvarača S15V2 .....	91
Sl. 4.4.7 Odnos prijenosnih omjera kod pretvarača S15V2 .....	91
Sl. 4.4.8 Konturni graf funkcije prijenosnog omjera varijante pretvarača S55V5Br2 .....	100
Sl. 4.4.9 Mjenjačke mogućnosti varijante S13V3 .....	108
Sl. 4.4.10 Mjenjačke mogućnosti varijante S14V2 .....	109
Sl. 4.4.11 Mjenjačke mogućnosti varijante S15V2 .....	110
Sl. 4.4.12 Mjenjačke mogućnosti varijante S16V3 .....	111
Sl. 4.4.13 Mjenjačke mogućnosti varijante S35V5 .....	112
Sl. 4.4.14 Mjenjačke mogućnosti varijante S56V3 .....	112
Sl. 4.4.15 Mjenjačke mogućnosti varijante S55V5 .....	113
Sl. 5.3.1 Specifični realni relativni momenti na vratilima, energetski tokovi i stupanj iskoristivosti varijante S15V1Br1 .....	125
Sl. 5.3.2 Specifični realni relativni momenti na vratilima, energetski tokovi i stupanj iskoristivosti varijante S15V1Br2 .....	125
Sl. 5.3.3 Graf funkcije stupnja iskoristivosti kod varijante S15V1Br1 .....	128
Sl. 5.4.1 Specifični realni relativni momenti, smjer relativnog energetskog toka i funkcija stupnja iskoristivosti kod rada s uključenom kočnicom Br1 varijante S15V2 .....	129
Sl. 5.4.2 Specifični realni relativni momenti, smjer relativnog energetskog toka i funkcija stupnja iskoristivosti kod rada s uključenom kočnicom Br2 varijante S15V2 .....	129
Sl. 5.4.3 Smjerovi energetskih tokova ovisno o predznaku momenta na vratilima .....	137

Sl. 5.4.4 Dijagram momenata na vanjskom spojnom vratilu .....	137
Sl. 5.4.5 Grafički prikaz maksimalnih i minimalnih intenziteta specifične jalove snage kod izabranih varijanti .....	140
Sl. 5.4.6 Graf funkcije stupnja iskoristivosti varijante S55V5Br2 .....	141
Sl. 5.4.7 Funkcija prijenosnog omjera varijante S14V2Br2 .....	142
Sl. 5.4.8 Funkcija stupnja iskoristivosti varijante S14V2Br2 .....	142
Sl. 5.4.9 Prikaz odnosa jalove snage i snage na ulazu u ovisnosti o idealnim momentnim omjerima $t_I$ i $t_{II}$ kod varijante S14V2 pri radu s uključenom kočnicom Br2.....	143
Sl. 5.4.10 Ovisnost stupnja iskoristivosti o prijenosnom omjeru kod varijante S14V2Br2 .....	146
Sl. 5.5.1 Stupanj iskoristivosti pretvarača varijante S55V5Br2 kao funkcija relativnih stupnjeva iskoristivosti planetnih slogova u intervalu $\eta_{0I} \in (0,95; 0,99)$ i $\eta_{0II} \in (0,95; 0,99)$ za parametre $t_I = 3,3636$ i $t_{II} = 4$ ( $i_{Br2} = -26,427$ ) .....	148
Sl. 5.5.2 Stupanj iskoristivosti pretvarača označe S55V5 kao funkcija relativnih stupnjeva iskoristivosti planetnih slogova u intervalu $\eta_{0I} \in (0,95; 0,99)$ i $\eta_{0II} \in (0,95; 0,99)$ za parametre $t_I = 2$ i $t_{II} = 10$ ( $i_{Br2} = 2,75$ ).....	149
Sl. 5.6.1 Pojednostavljen prikaz eksperimentalnog pretvarača i neki njegovi osnovni parametri.....	150
Sl. 5.6.2 Vanjski izgled eksperimentalnog pretvarača.....	151
Sl. 5.6.3 Oprema za određivanje statičkog stupnja iskoristivosti.....	152
Sl. 5.7.1 Simbolički prikaz eksperimentalnog pretvarača označe S15V1Br2 .....	161
Sl. 5.7.2 Dio sklopog crteža eksperimentalnog pretvarača S15V1Br2.....	161
Sl. 5.7.3 Ispitni stol za dinamičko ispitivanje planetnih pretvarača. ....	163
Sl. 5.7.4 Dio mjerne opreme za određivanje stupnja iskoristivosti .....	163
Sl. 5.7.5 Shematski prikaz ispitnog stola s mjernom opremom .....	164
Sl. 5.7.6 Eksperimentalno dobivene vrijednosti stupnjeva iskoristivosti pretvarača i interval računskog stupnja iskoristivosti.....	167
Sl. 5.7.7 Graf stupnja iskoristivosti eksperimentalnog pretvarača iz [1] .....	170
Sl. 6.2.1 Simbolički prikaz varijante S55V5 .....	174
Sl. 6.2.2 Specifične relativne brzine vrtnje satelita kod varijante S55V5.....	176
Sl. 7.2.1 Određivanje momenata na sunčanim zupčanicima planetnih slogova kod varijante S35V5 pri radu s uključenom kočnicom Br1 .....	188
Sl. 7.2.2 Određivanje momenata na sunčanim zupčanicima planetnih slogova kod varijante S35V5 pri radu s uključenom kočnicom Br2 .....	188

Sl. 8.5.1 Neki ulazni podaci u programski sustav <i>DVOBRZI</i> kod izbora varijante dvobrzinskog pretvarača .....	218
Sl. 8.5.2 Diobeni promjer radijalno većeg vijenca kao funkcija idealnih momentnih omjera $t_I$ i $t_{II}$ .....	221
Sl. 8.5.3 Omjeri većeg i manjeg diobenog promjera vijenaca dvaju planetnih slogova kao funkcije idealnih momentnih omjera $t_I$ i $t_{II}$ .....	222
Sl. 8.5.4 Računski stupanj iskoristivosti $\eta$ kao funkcija idealnih momentnih omjera $t_I$ i $t_{II}$ .....	222
Sl. 8.5.5 Neki ulazni podaci u programski sustav <i>DVOBRZI</i> kod izbora varijante jednobrzinskog pretvarača .....	223
Sl. 9.1 Simbolički prikaz mogućeg 4-brzinskog sustava .....	232
Sl. 9.2 Konstrukcijska koncepcija mogućeg 4- brzinskog sustava .....	232
Sl. 9.3 Simbolički prikaz mogućeg 9-brzinskog sustava.....	233
Sl. 9.4 Koncepcijska shema mogućeg 9-brzinskog sustava.....	233

## POPIS TABLICA

Tab. 2.6.1 Oznake stupnjeva prijenosa u različitim režimima rada planetnog pretvarača, analitički izrazi i vrijednosti za prijenosne omjere $i$ pri $t \in (2,12)$ .....	23
Tab. 2.9.1 Izrazi za određivanje stupnjeva iskoristivosti kod dvovratilnog režima rada planetnog sloga .....	27
Tab. 3.2.1 Sistematisacija shema dvovodilnih pretvarača s dva spojna i četiri vanjska vratila .....	44
Tab. 4.2.1 Prijenosni omjeri dvobrzinskih pretvarača s kočnicama na zasebnim vratilima.....	59
Tab. 4.2.2 Mogući režimi rada pretvarača s varijantom razmještaja V6 .....	61
Tab. 4.2.3 Konstrukcijske koncepcije dvobrzinskih pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima.....	60
Tab. 4.2.4 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući idealni momentni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima (varijanta razmještaja V6) .....	68
Tab. 4.2.5 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući prijenosni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima (varijanta razmještaja V6) .....	69
Tab. 4.3.1 Prijenosni omjeri i ekstremne vrijednosti prijenosnih omjera pretvarača S varijantom razmještaja V1.....	72
Tab. 4.3.2 Jednobrzinski pretvarači s varijantom razmještaja V1 i stalnim reaktivnim članom Br1.....	74
Tab. 4.3.3 Jednobrzinski pretvarači s varijantom razmještaja V1 i stalnim reaktivnim članom Br2.....	74
Tab. 4.3.4 Mogući režimi rada pretvarača s varijantom razmještaja V1 .....	76
Tab. 4.3.5 Konstrukcijske koncepcije dvobrzinskih pretvarača s varijantom razmještaja V1 ...	78
Tab. 4.3.6 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući idealni momentni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima .....	85
Tab. 4.3.7 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući prijenosni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima .....	86
Tab. 4.4.1 Funkcije prijenosnih omjera i ekstremne vrijednosti prijenosnih omjera .....	93

Tab. 4.4.2 Klasifikacija prema režimu rada u brzini Br1 varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu koji u brzini Br2 rade pretežno kao reduktori .....	97
Tab. 4.4.3 Mogući režimi rada pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu.....	98
Tab. 4.4.4 Konstrukcijske koncepcije dvobrzinskih pretvarača s kočnicama na spojnom i zasebnom vratilu .....	102
Tab. 4.4.5 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući idealni momentni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu .....	114
Tab. 4.4.6 Ekstremni skokovi prijenosa i njihovi odgovarajući prijenosni omjeri kod pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu .....	116
Tab. 4.5.1 Ekstremne vrijednosti skoka prijenosa $S_p$ kod karakterističnih varijanti pretvarača .....	119
Tab. 4.5.2 Izrazi za određivanje skoka prijenosa $S_p$ kod karakterističnih varijanti pretvarača .....	120
Tab. 5.3.1 Smjerovi relativnih energetskih tokova i ekstremne vrijednosti orijentacijskih stupnjeva iskoristivosti dvobrzinskih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima .....	127
Tab. 5.4.1 Podaci potrebni za određivanje funkcije stupnja iskoristivosti $\eta_{Br2}$ .....	131
Tab. 5.4.2 Mogući načini energetskih tokova kod pretvarača s varijantom razmještaja V5 odnosno V11 .....	136
Tab. 5.4.3 Pregled varijanti pretvarača kod kojih se javlja grananje energetskog toka odnosno jalov energetski tok .....	138
Tab. 5.4.4 Minimalni i maksimalni intenziteti specifične jalove snage (poredak prema maksimalnoj vrijednosti od manje na više) .....	139
Tab. 5.4.5 Popis parova ekvivalentnih varijanti .....	145
Tab. 5.4.6 Popis parova ekvivalentnih varijanti bez jalove snage .....	145
Tab. 5.6.1 Rezultati mjerenja dobiveni pri zakočenom spojnom vratilu (dva vijenca) .....	155
Tab. 5.6.2 Rezultati mjerenja dobiveni pri zakočenom zasebnom vratilu .....	156
Tab. 5.6.3 Rezultati eksperimentalnog određivanja stupnja iskoristivosti na prvom planetnom slogu pri prijenosu energije od sunčanog zupčanika prema vodilu uz zakočen vijenac .....	157

Tab. 5.6.4 Rezultati eksperimentalnog određivanja stupnja iskoristivosti na drugom planetnom slogu pri prijenosu energije od sunčanog zupčanika prema vodilu uz zakočen vijenac .....	158
Tab. 5.7.1 Izmjerena srednja sila na poluzi kočnice $\bar{F}_k$ , srednji moment na ulaznom vratilu $\bar{T}_A'$ i izračunat srednji stupanj iskoristivosti $\bar{\eta}$ za dvije različite brzine vrtnje i temperature ulja te četiri različita pogonska opterećenja .....	166
Tab. 5.7.2 Određivanje gornje i donje granice računskog stupnja iskoristivosti planetnih slogova.....	168
Tab. 6.2.1 Intenziteti relativnih brzina vrtnje satelita ovisno o slučaju .....	174
Tab. 6.2.2 Ekstremne apsolutne vrijednosti specifičnih relativnih brzina vrtnje satelita varijanti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu....	178
Tab. 6.2.3 Ekstremne apsolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V1 .....	181
Tab. 6.2.4 Ekstremne apsolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V7 .....	182
Tab. 6.2.5 Ekstremne apsolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V6 .....	183
Tab. 6.2.6 Ekstremne apsolutne vrijednosti specifične relativne brzine vrtnje satelita kod pretvarača s varijantom razmještaja V12 .....	184
Tab. 7.2.1 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu.....	190
Tab. 7.2.2 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s varijantom razmještaja V1 .....	194
Tab. 7.2.3 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima planetnih pretvarača s varijantom razmještaja V7 .....	195
Tab. 7.2.4 Specifični momenti na sunčanim zupčanicima pretvarača s kočnicama na zasebnim vratilima .....	197
Tab. 8.4.1 Primjer tablice za odabir kriterija kod izbora optimalne varijante i unos težinskih koeficijenata.....	214
Tab. 8.5.1 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima $\chi_d=1$ , $\chi_l=0$ .....	219
Tab. 8.5.2 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima $\chi_l=1$ , $\chi_d=0$ .....	219
Tab. 8.5.3 Prioritetna lista rješenja dobivena s težinskim koeficijentima $\chi_d=0,5$ , $\chi_l=0,5$ .....	219
Tab. 8.5.4 Prioritetna lista varijanti pretvarača s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente $\chi_d=1$ , $\chi_l=0$ .....	224

Tab. 8.5.5 Prioritetna lista varijanti pretvarača s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente $\chi_d=0$ i $\chi_l=1$ .....	225
Tab. 8.5.6 Prioritetna lista varijanti pretvarača s pripadnim parametrima dobivena uz težinske koeficijente $\chi_d=0,5$ i $\chi_l=0,5$ .....	226

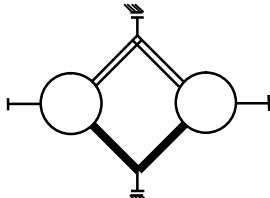
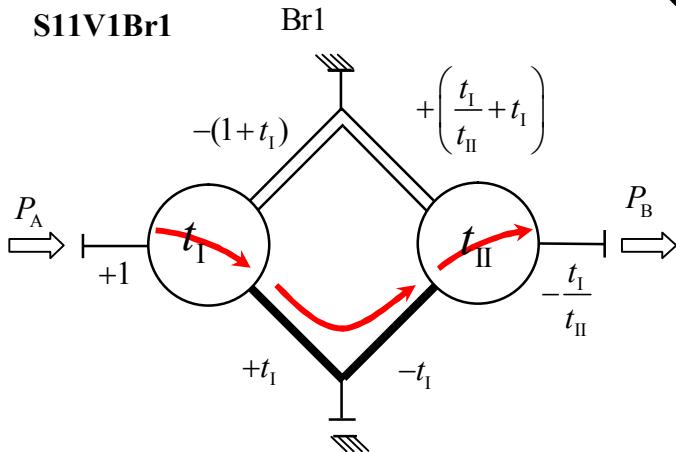
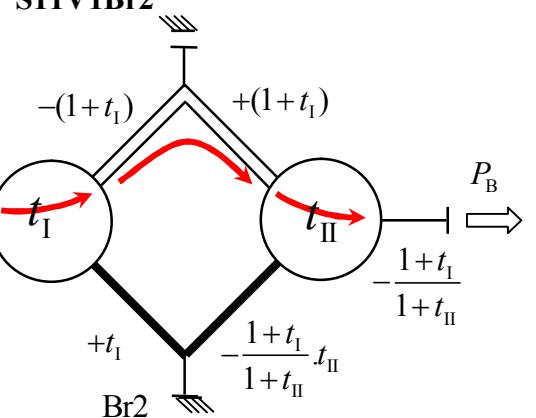
## PRILOG 1

### Strukturna analiza varijanti

U Prilogu 1 je napravljena sustavna strukturna analiza varijanti dvobrzinskih pretvarača. Određeni su relativni momenti na vratilima. Izvedene su funkcije prijenosnog omjera za obje brzine kod svake od razmatranih varijanti pretvarača. Određeni su energetski tokovi kroz elemente pretvarača. Punim zakrivljenim crtama sa strelicama su označeni efektivni i eventualno jalovi energetski tokovi, a isprekidanim crtama sa strelicama su određeni relativni energetski tokovi na planetnim sloganima.

Izvedene su funkcije stupnjeva iskoristivosti za obje brzine kod svake od razmatranih varijanti pretvarača. Strukturna analiza je učinjena samo za jednu od dvije međusobno inverzne varijante unutar svake od shema. To je opravdano jer međusobno inverzne varijante imaju suprotne energetske tokove i recipročne izraze za prijenosne omjere. Osim toga funkcije stupnjeva iskoristivosti kod proizvoljnih varijanti su primjenjive i kod njima inverznih varijanti. Ukoliko u Prilogu 1 nema tražene analize neke od varijanti, treba potražiti analizu njoj identične varijante ili analizu inverzne varijante njoj identičnoj varijanti. Na taj način se može doći do funkcija prijenosnih omjera, funkcija stupnjeva iskoristivosti te energetskih tokova i za varijante koje nisu neposredno analizirane u ovom Prilogu.

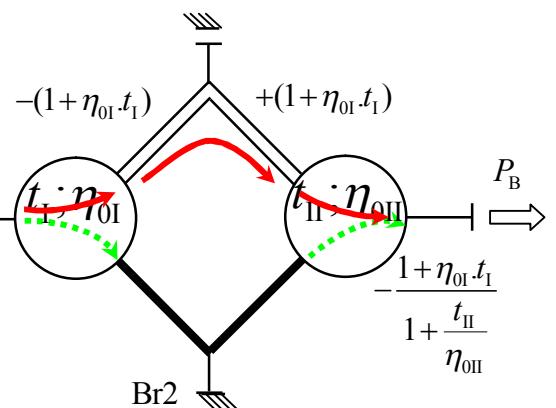
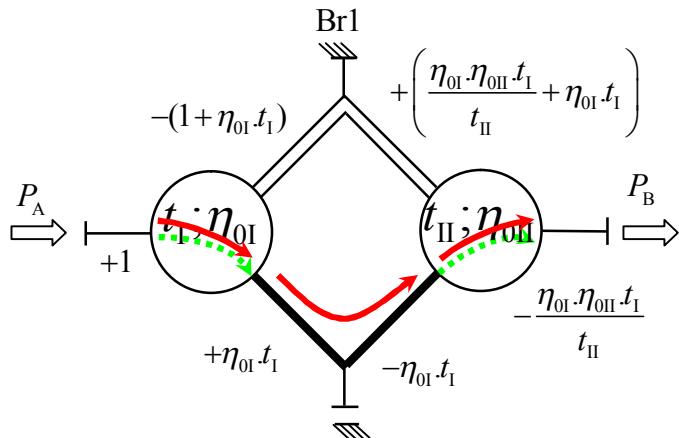
U ovom Prilogu su izvedene i funkcije intenziteta momenata na sunčanim zupčanicima oba planetna sloga u obje brzine. Izvedene funkcije vrijede u slučaju da nema gubitaka u planetnom slogu. Ukoliko bi se uzeli u obzir gubici u planetnim sloganima potrebno je idealne momentne omjere, ovisno o smjeru relativne energije kroz pojedini planetni slog, pomnožiti ili podijeliti s relativnim stupnjem iskoristivosti pojedinog planetnog sloga.

**S11V1****S11V1Br1****S11V1Br2**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I}{t_{II}}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_I}{1+t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{sgubicima}}{(T_B)_{bez gubitaka}} = \eta_{0I} \cdot \eta_{0II}$$

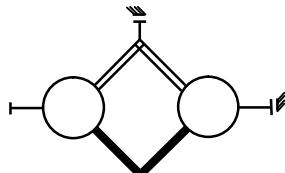
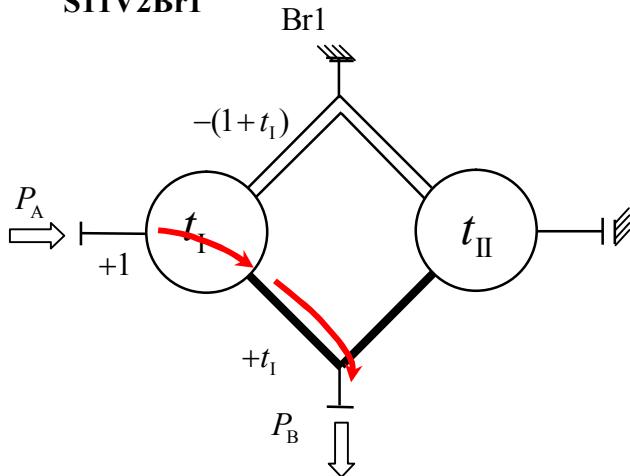
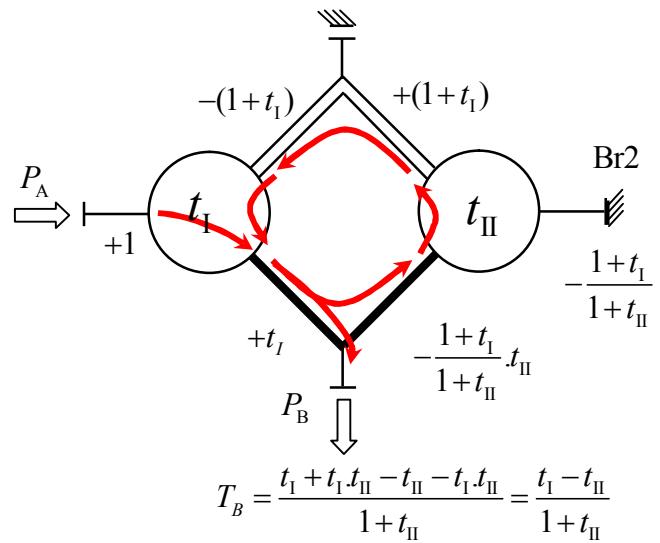
$$\eta_{Br2} = \frac{(T_B)_{sgubicima}}{(T_B)_{bez gubitaka}} = \frac{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})}}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})}$$

**S11V2****S11V2Br1****S11V2Br2**

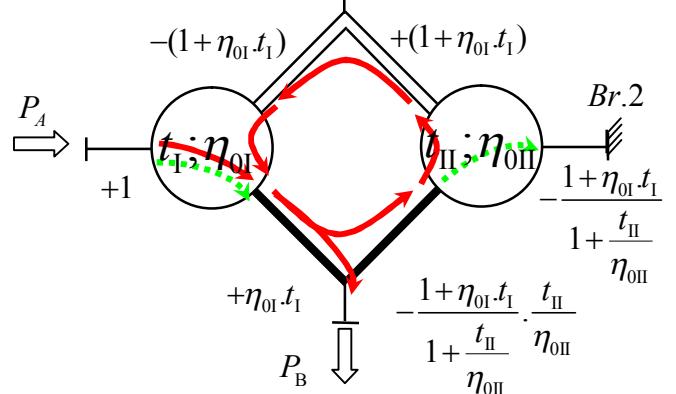
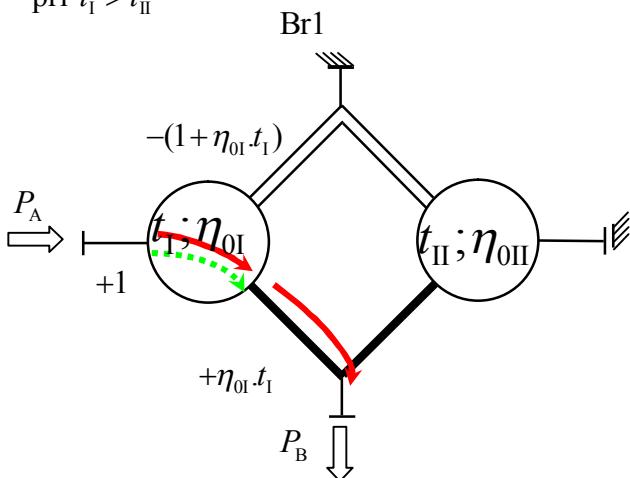
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

pri  $t_I > t_{II}$

$$T_B = \frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}} > 0 \quad \Rightarrow \quad i_{Br2} = -\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}} < 0$$



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$

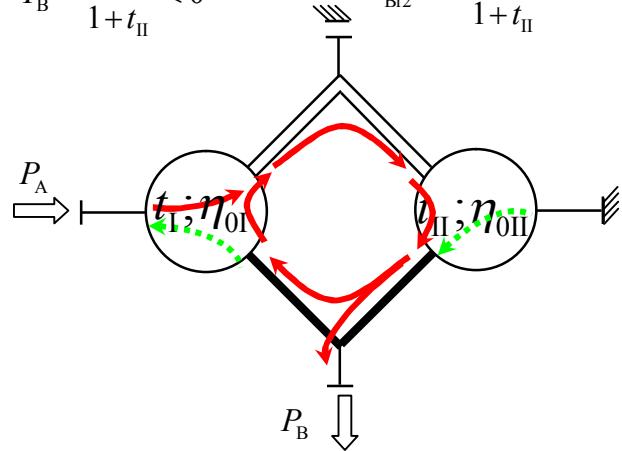
$$\eta_{Br2} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}}}$$

$$\frac{\eta_{0I} \cdot t_I - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + t_{II}}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

pri  $t_I < t_{II}$

$$T_B = \frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}} < 0 \quad i_{Br2} = -\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}} > 0$$



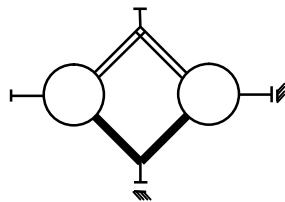
$$\eta_{Br2} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} - \eta_{0II} \cdot t_{II}}{\frac{(T_B)_{s gubitima}}{(T_B)_{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} - \eta_{0II} \cdot t_{II}}{\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

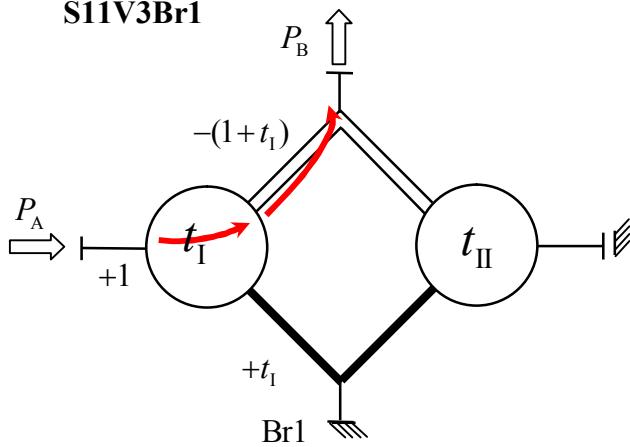
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

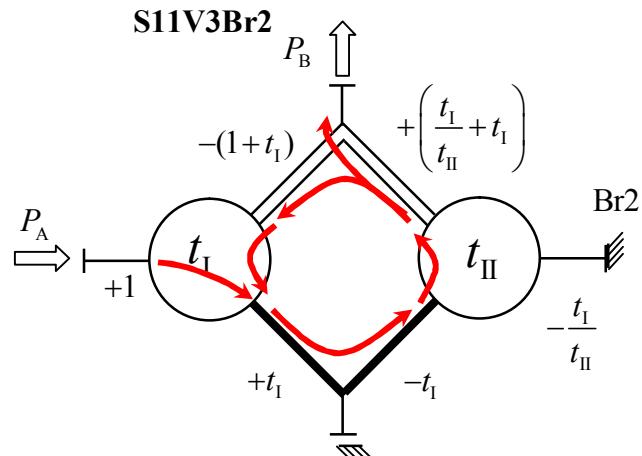
$$T_{III} = T_A \frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})}$$

**S11V3**

$$T_B = \frac{t_1 - t_{II}}{t_{II}}$$

**S11V3Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$



$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I - t_{II}}{t_{II}}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

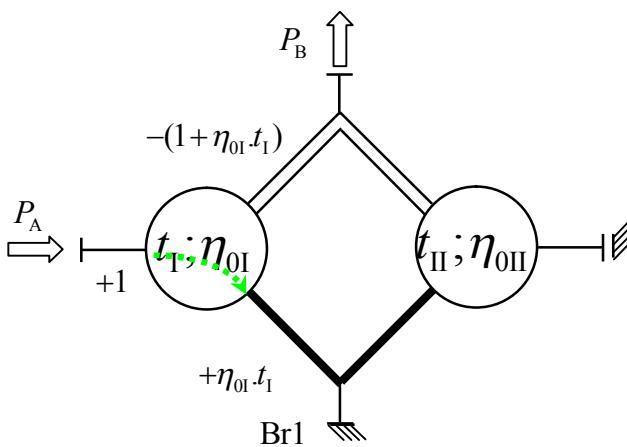
pri  $t_I > t_{II}$

$$T_B = \frac{t_1 - t_{II}}{t_{II}} > 0$$

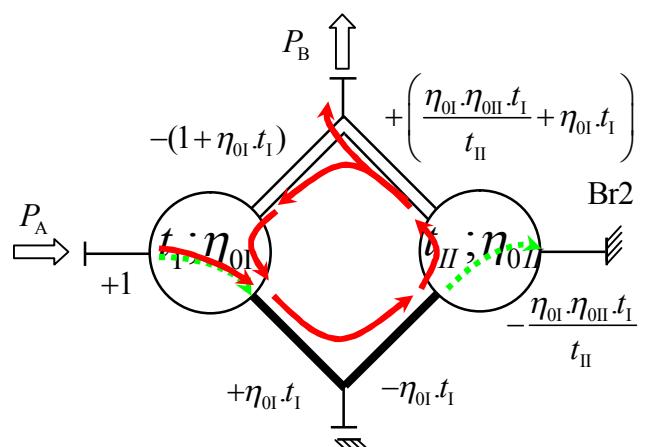
$$i_{Br2} = -\frac{t_I - t_{II}}{t_{II}} < 0$$

kod  $t_I > 2t_{II}$  - Reduktor

kod  $t_I < 2t_{II}$  - Multiplikator



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$

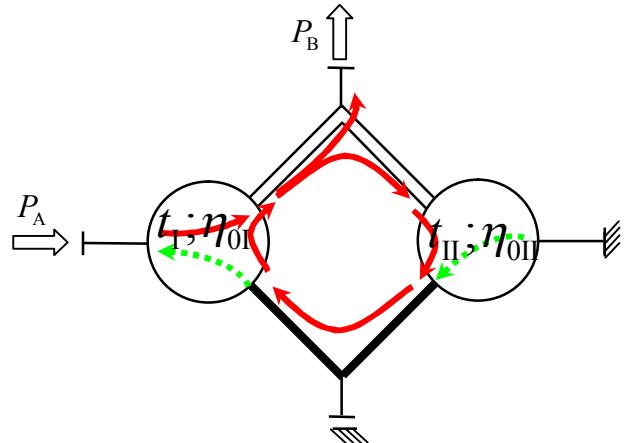


$$\eta_{Br2} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I}{t_{II}} + \eta_{0I} \cdot t_I}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica  
pri  $t_1 < t_{II}$

$$T_B = \frac{t_1 - t_{II}}{t_{II}} < 0 \quad i_{Br2} = -\frac{t_1 - t_{II}}{t_{II}} > 0$$

Multiplikator



$$\eta_{Br2} = \frac{\frac{t_1 - \eta_{0II} \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}{\frac{(T_B)_{sgubicima}}{(T_B)_{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0II} \cdot t_{II}}{\frac{t_1 - t_{II}}{t_{II}}}$$

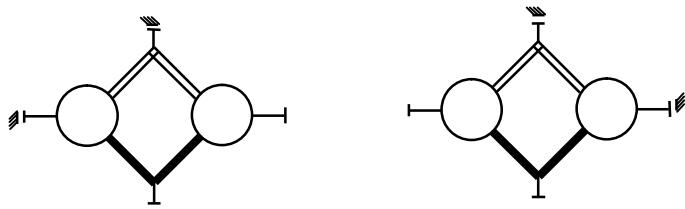
$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$

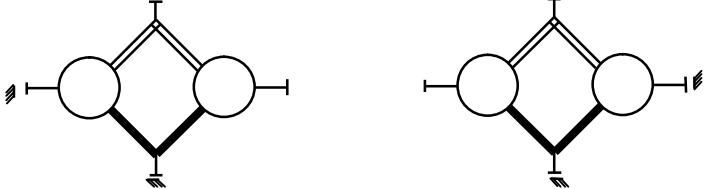
$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_1}{t_{II}}$$

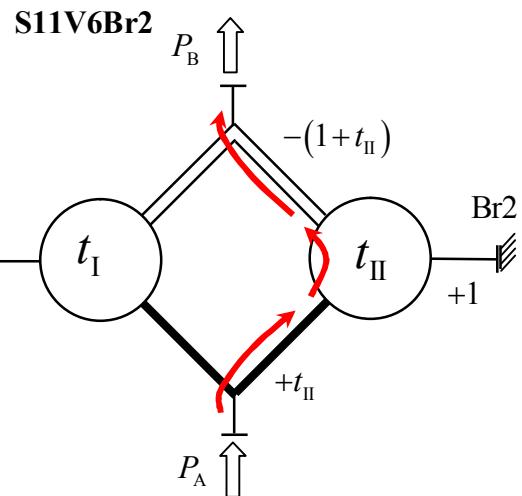
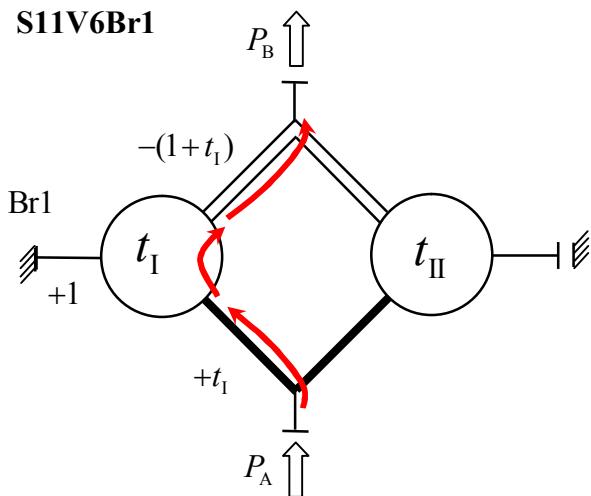
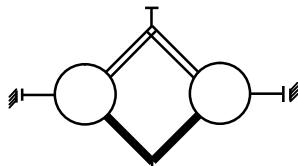
**S11V4(V10) ≡ S11V8(V2)**  
ako se zamjene  $t_1$  i  $t_{II}$



**11V5(V11) ≡ 11V9(V3)**  
ako se zamjene  $t_1$  i  $t_{II}$



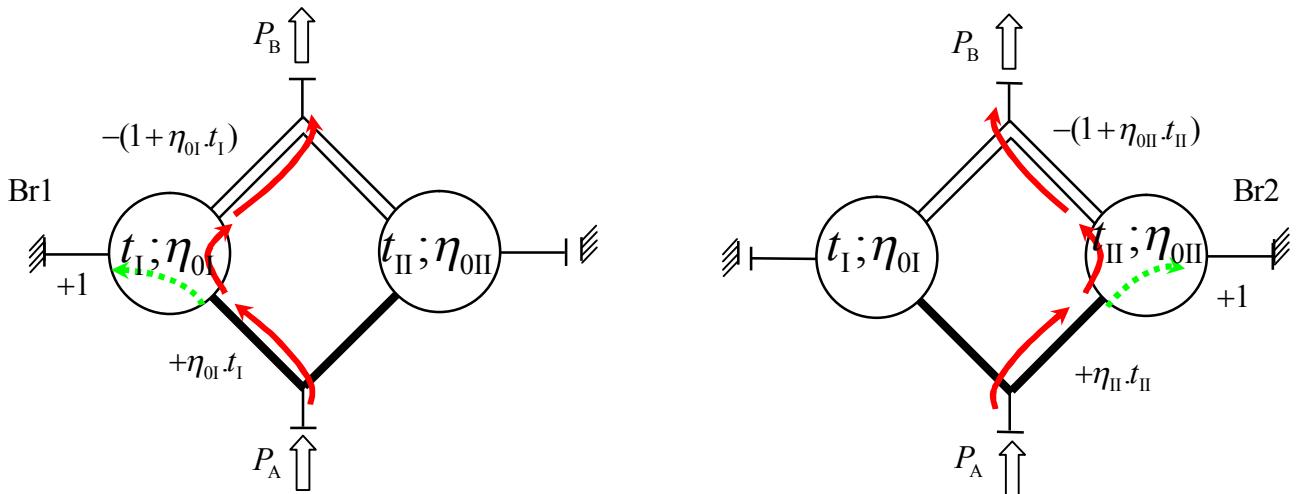
**S11V6**



$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{sgubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

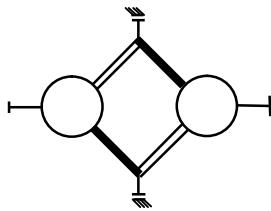
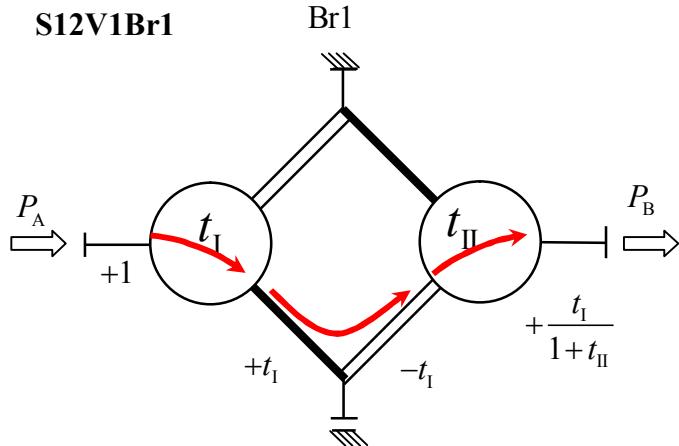
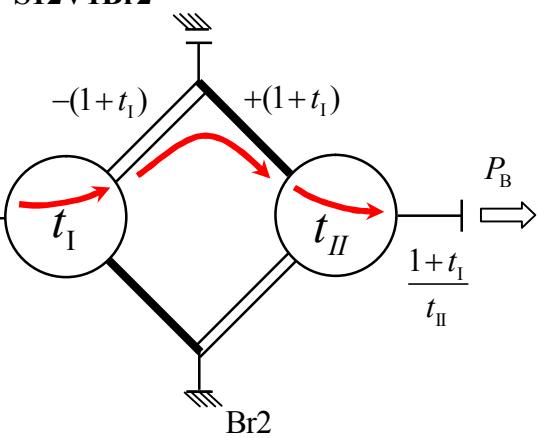
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{sgubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0II}}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

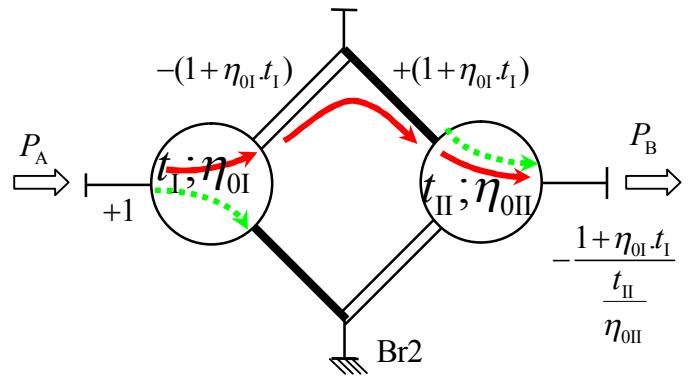
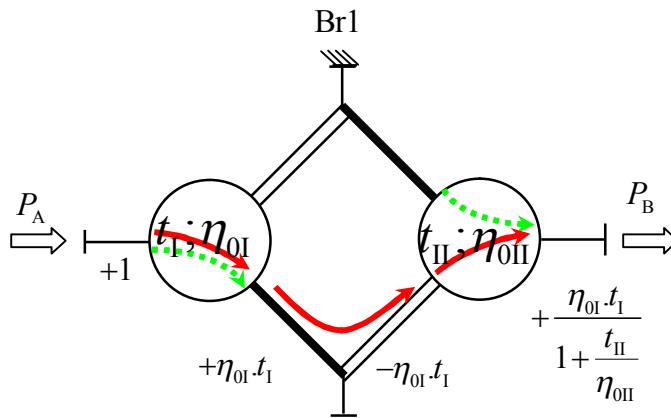
$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

**S12V1****S12V1Br1****S12V1Br2**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I}{1+t_{II}}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1+t_I}{t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I}{1+t_{II}}}{\frac{t_I}{1+t_{II}}} = \frac{\eta_{0I} \cdot t_I}{\eta_{0II}}$$

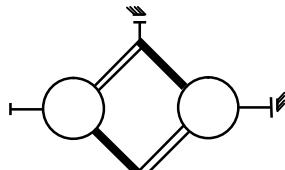
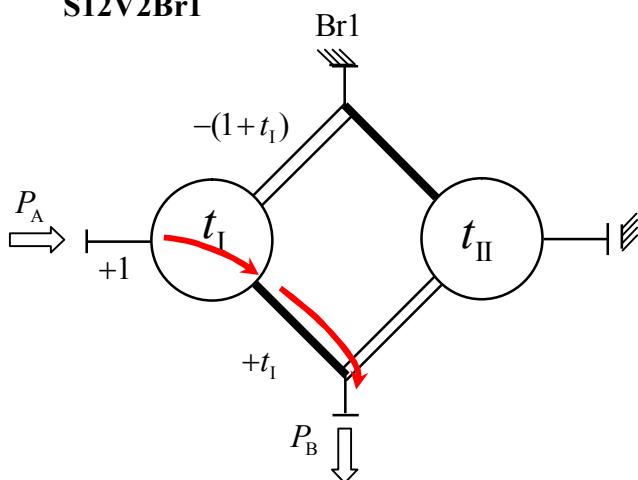
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{\frac{-(1+\eta_{0I} \cdot t_I)}{\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}}{\frac{1+t_I}{t_{II}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0I} \cdot t_I}{t_{II}}}{\frac{1+t_I}{t_{II}}} = \frac{(1+\eta_{0I} \cdot t_I) \eta_{0II}}{1+t_I}$$

$$T_{II} = T_A$$

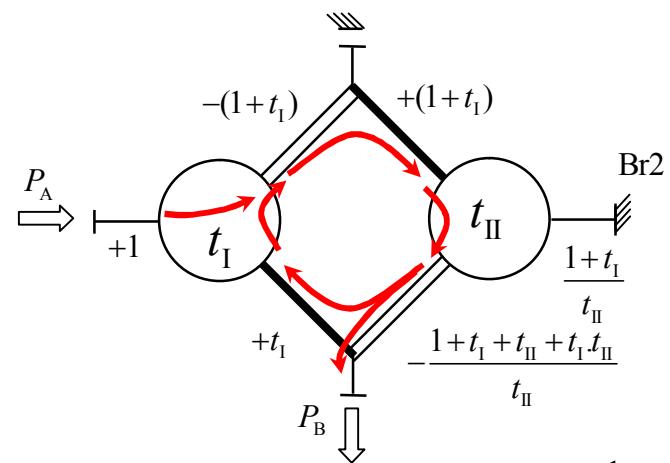
$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{1+t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_{II}}$$

**S12V2****S12V2Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_1$$

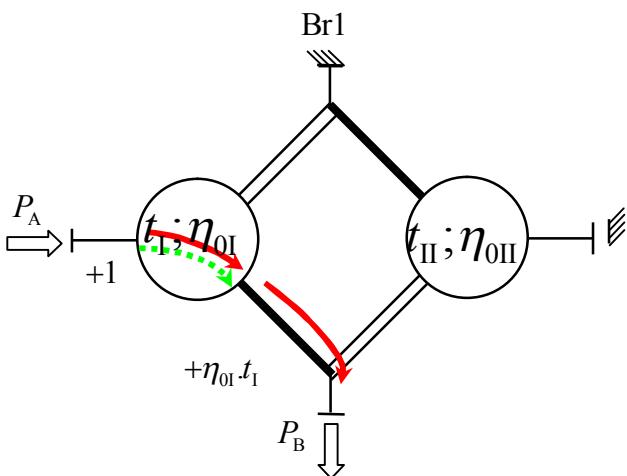
**S12V2Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_1+t_{II}}{t_{II}} = 1 + \frac{1+t_1}{t_{II}}$$

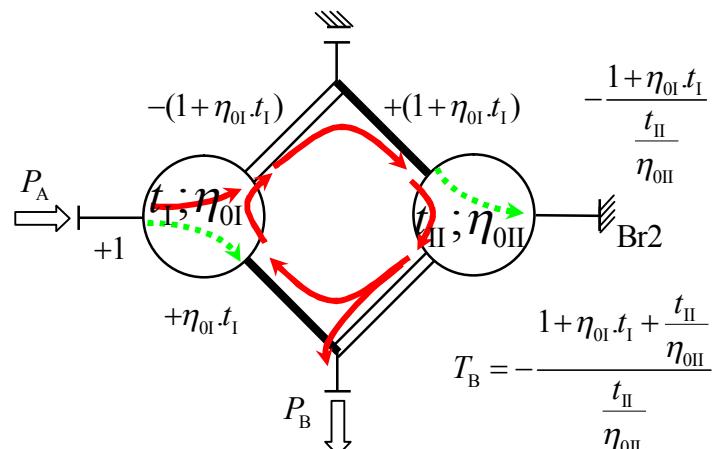
$$T_B = -\frac{1+t_1+t_{II}}{t_{II}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \eta_{0I}$$



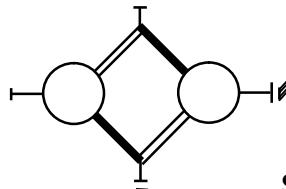
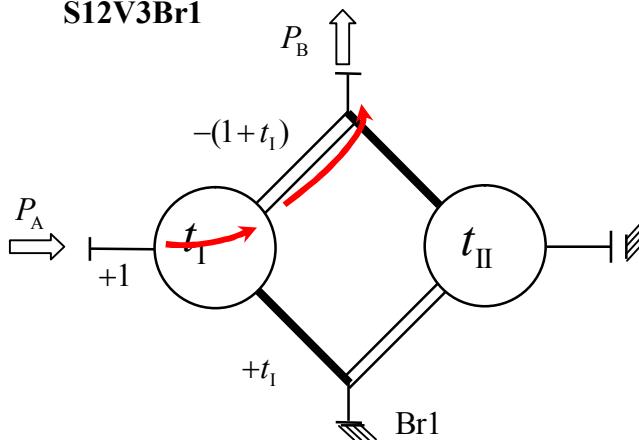
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{\frac{1+\eta_{0I} \cdot t_1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_{II}}}{\frac{1+t_1+t_{II}}{t_{II}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0I} \cdot t_1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_{II}}}{\frac{1+t_1+t_{II}}{t_{II}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

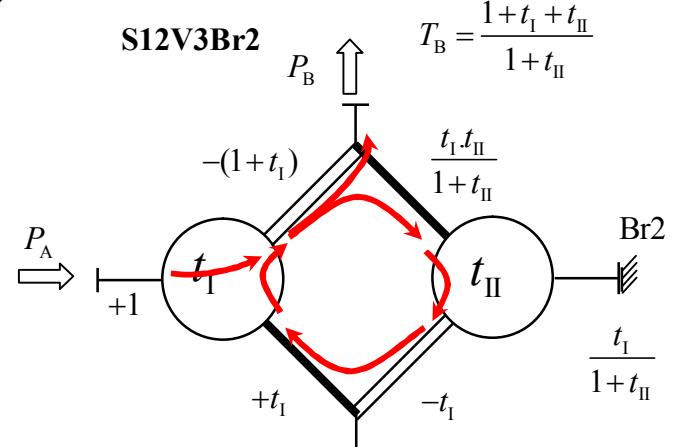
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{1+t_1}{t_{II}}$$

**S12V3****S12V3Br1**

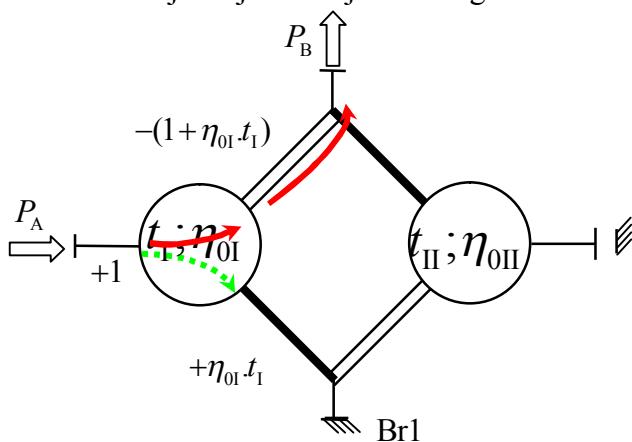
$$T_B = \frac{1+t_1+t_{II}}{1+t_{II}}$$

**S12V3Br2**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1+t_1$$

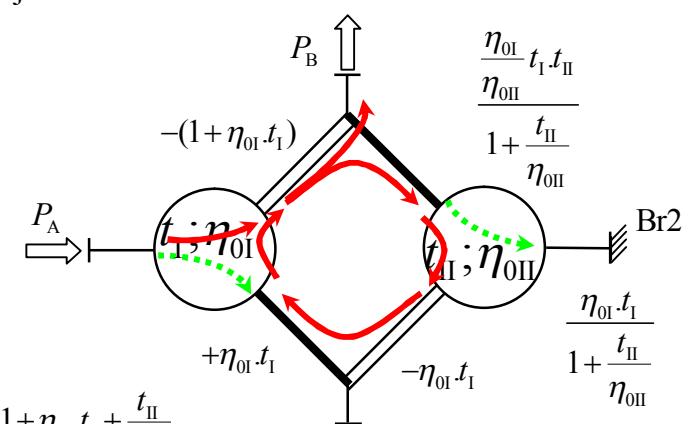
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_1+t_{II}}{1+t_{II}} = +1 + \frac{t_1}{1+t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$T_B = -\frac{1+\eta_{0I}t_1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$$

$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{1+\eta_{0I}t_1}{1+t_1}$$



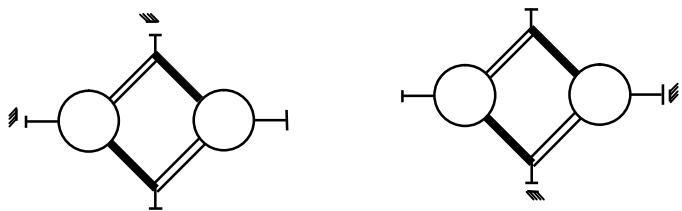
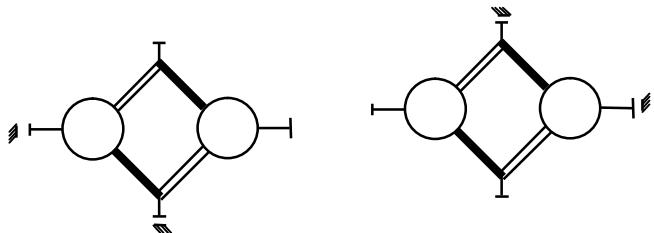
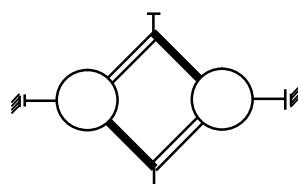
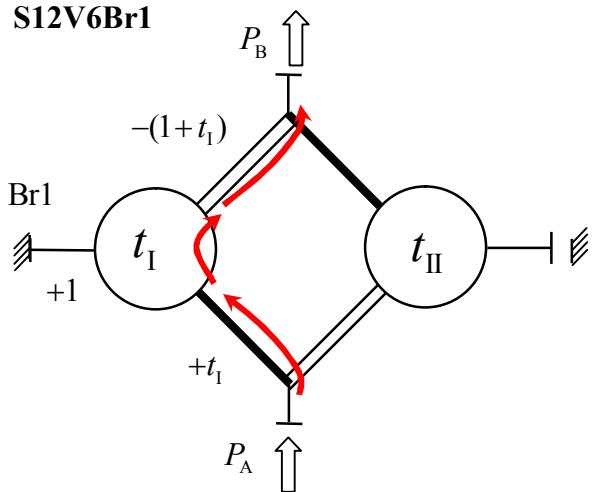
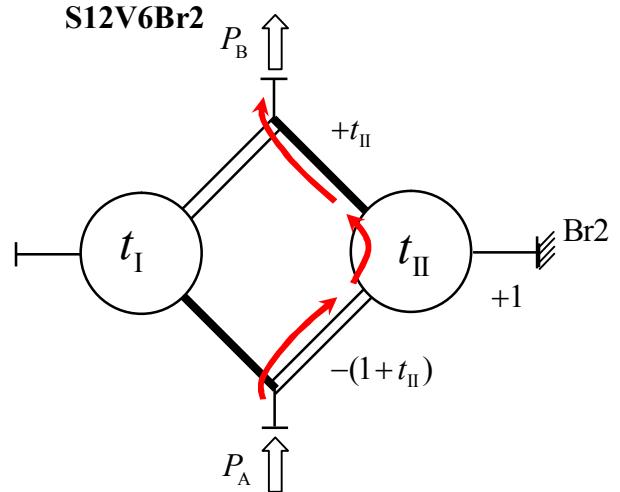
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{1+\eta_{0I}t_1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_1}{1+t_{II}}$$

**S12V4(V10)≡S12V9(V3)****S12V5(V11)≡S12V8(V2)****S12V6****S12V6Br1****S12V6Br2**

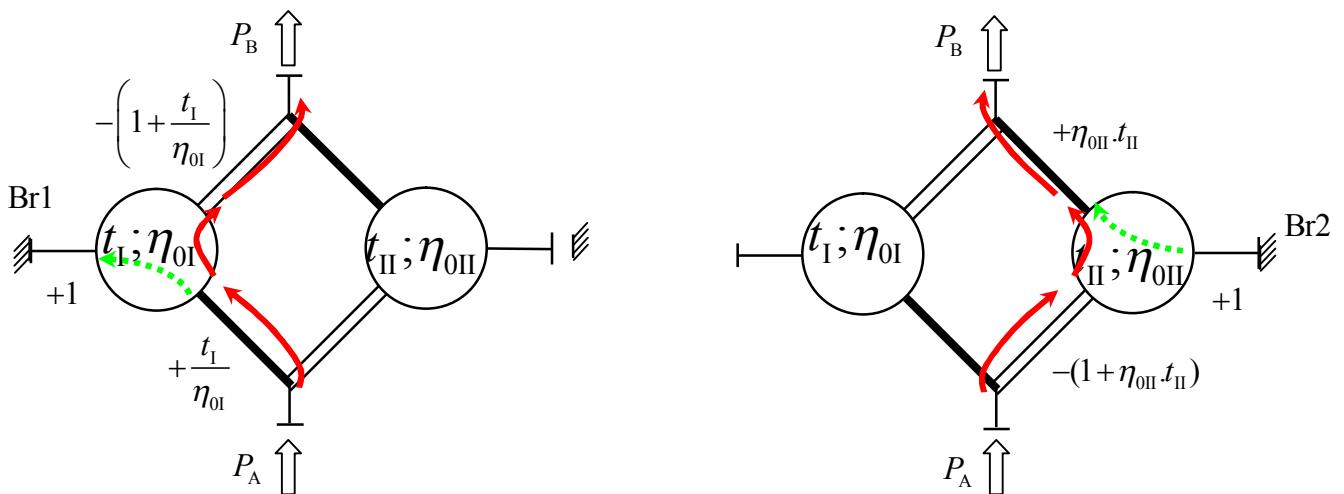
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I} > 1$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_{II}}{1+t_{II}} = \frac{1}{1+\frac{1}{t_{II}}} < 1$$

Reduktor

Multiplikator

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

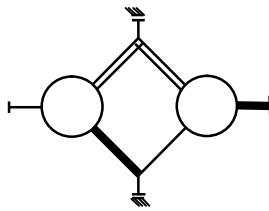
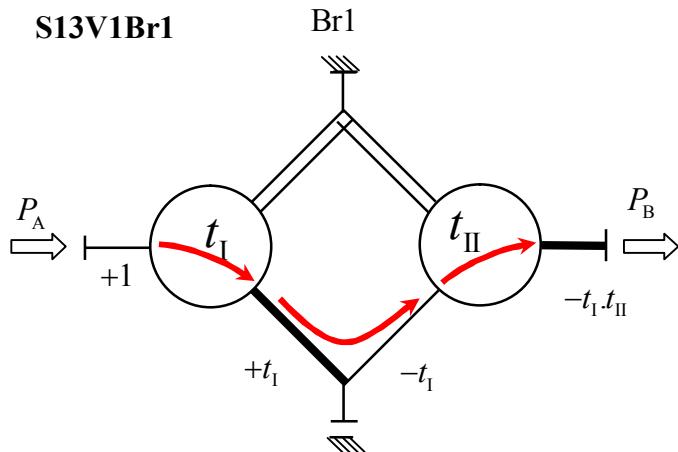
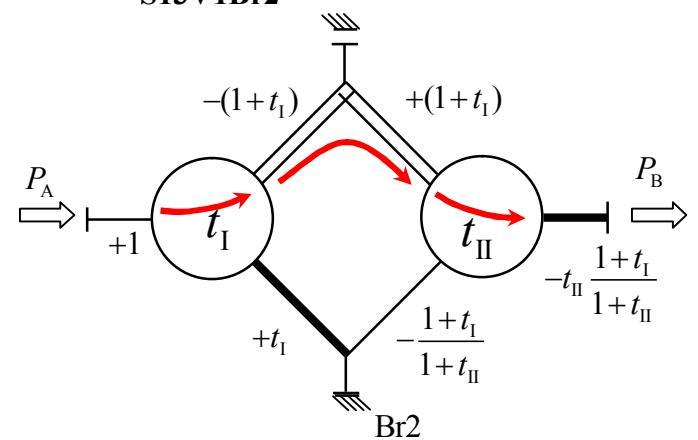


$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{1}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{\eta_{0II} \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I} \quad T_{III} = 0$$

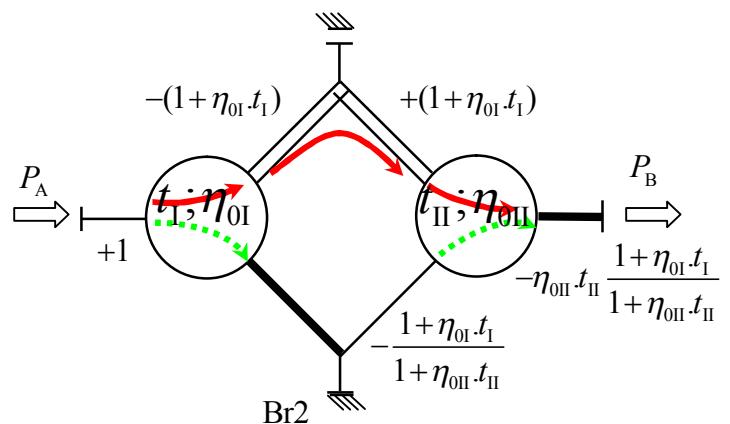
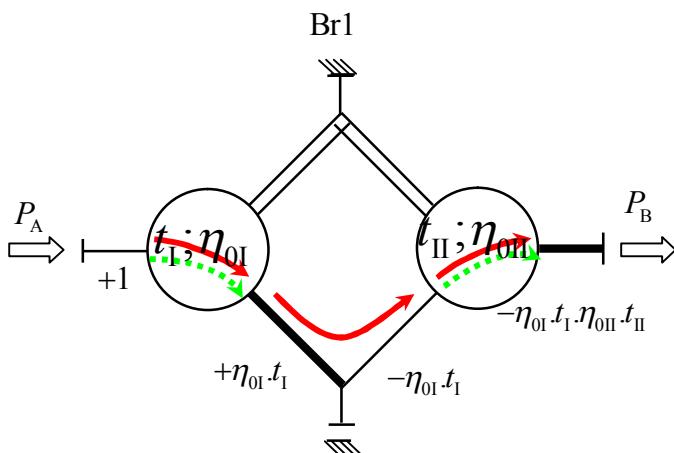
$$T_{II} = 0 \quad T_{III} = \frac{T_A}{1 + t_{II}}$$

**S13V1****S13V1Br1****S13V1Br2**

$$i_{\text{Br1}} = -\frac{T_B}{T_A} = t_I \cdot t_{\text{II}}$$

$$i_{\text{Br2}} = -\frac{T_B}{T_A} = t_{\text{II}} \frac{1+t_I}{1+t_{\text{II}}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br1}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I} \cdot \eta_{0II}$$

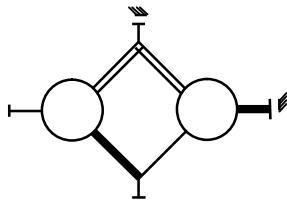
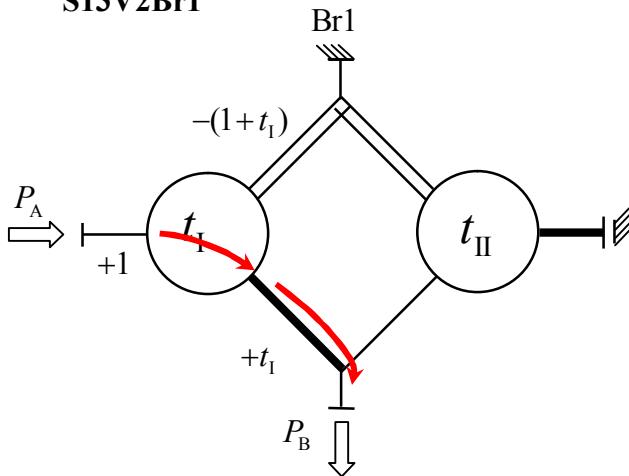
$$\eta_{\text{Br2}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0II} \cdot t_{\text{II}} \cdot \frac{1+\eta_{0I} \cdot t_I}{1+\eta_{0II} \cdot t_{\text{II}}}}{t_{\text{II}} \frac{1+t_I}{1+t_{\text{II}}}} = \frac{\eta_{0II} \cdot \frac{1+\eta_{0I} \cdot t_I}{1+\eta_{0II} \cdot t_{\text{II}}}}{\frac{1+t_I}{1+t_{\text{II}}}}$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = T_A \cdot t_I$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = T_A \frac{1+t_I}{1+t_{\text{II}}}$$

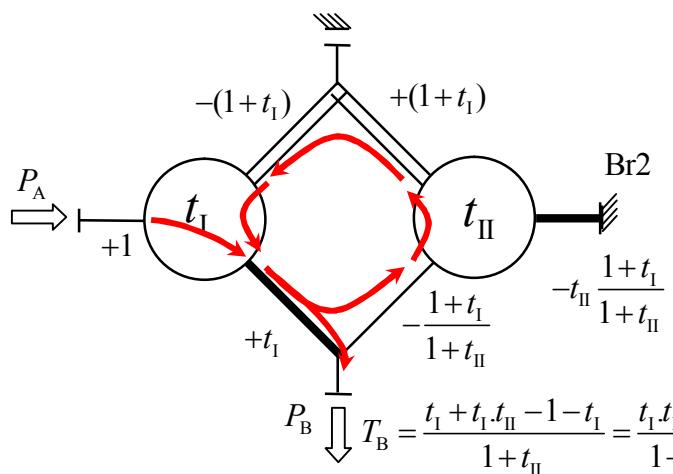
**S13V2****S13V2Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

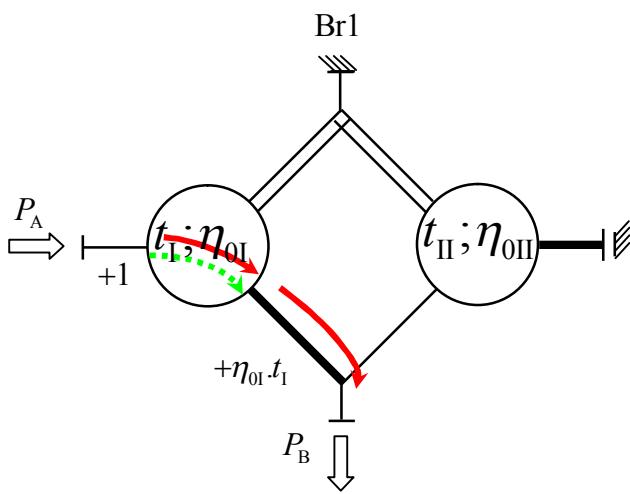
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I \cdot t_{II} - 1}{1 + t_{II}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

**S13V2Br2**

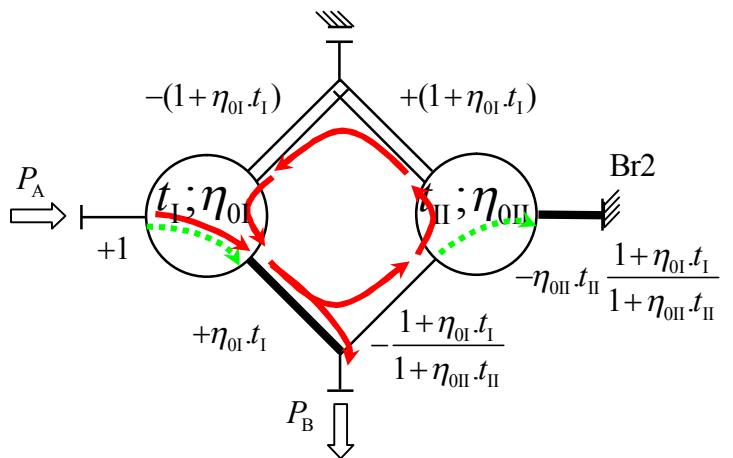
$$T_B = \frac{t_I + t_I \cdot t_{II} - 1 - t_I}{1 + t_{II}} = \frac{t_I \cdot t_{II} - 1}{1 + t_{II}} > 0$$



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$

$$T_{II} = T_A$$

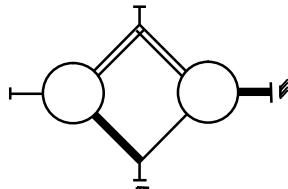
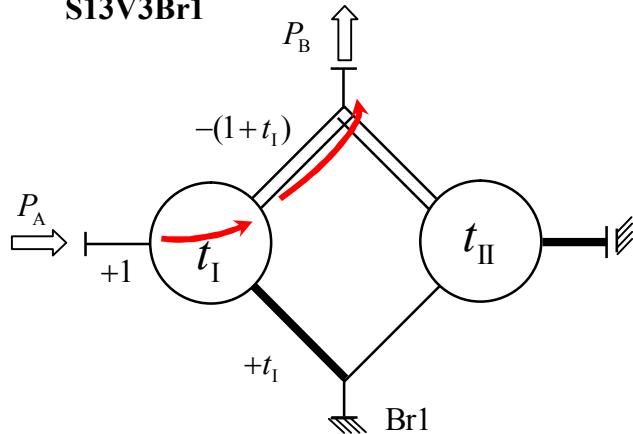
$$T_{III} = 0$$



$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II} - 1}{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}}{\frac{t_I \cdot t_{II} - 1}{1 + t_{II}}}$$

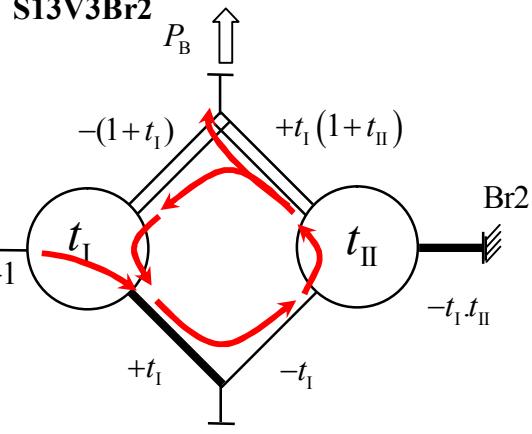
$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{1 + t_{II}}$$

**S13V3****S13V3Br1**

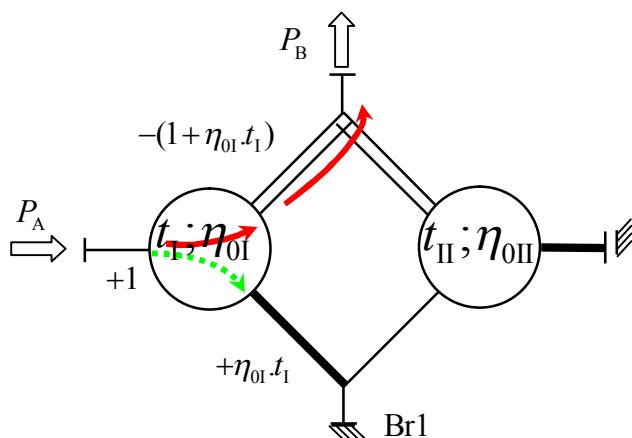
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$

$$T_B = t_I + t_I \cdot t_{II} - 1 - t_I = t_I \cdot t_{II} - 1 > 0$$

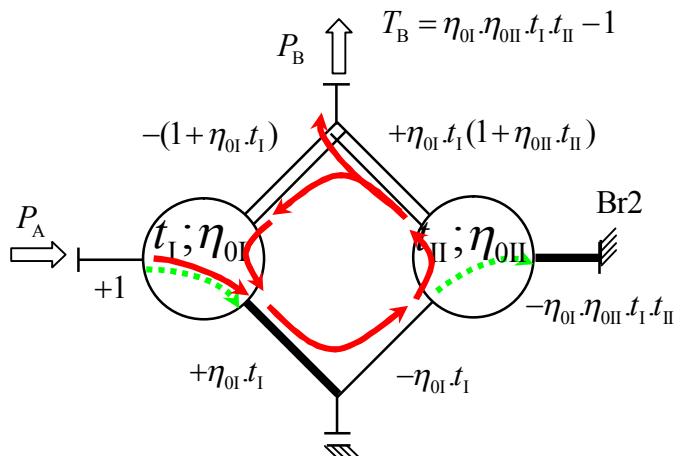


$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -(t_I \cdot t_{II} - 1)$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$



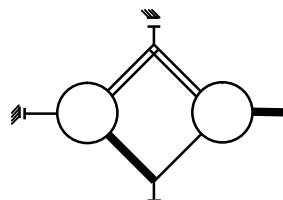
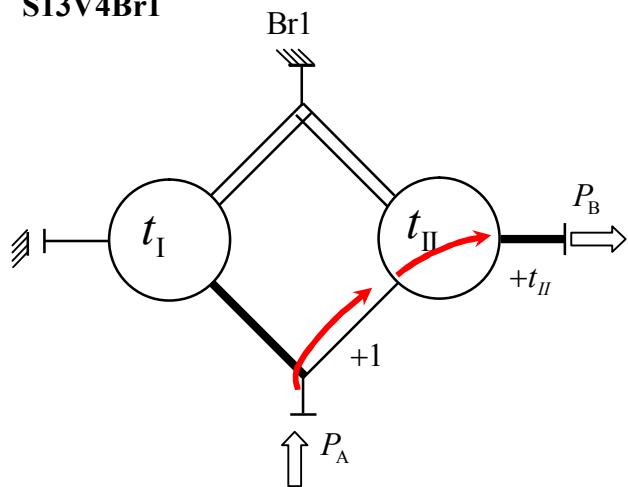
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II} - 1}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

$$T_{II} = T_A$$

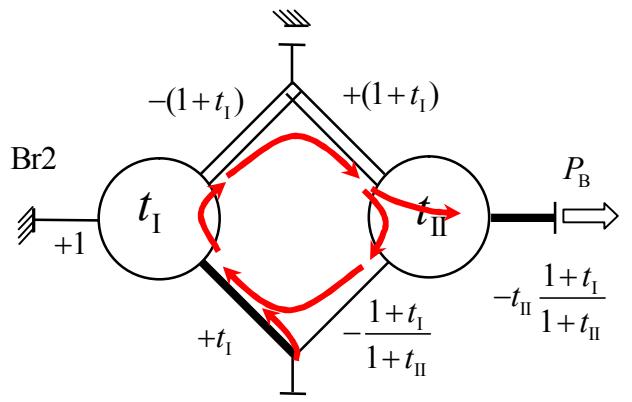
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A \cdot t_I$$

**S13V4****S13V4Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{II}$$

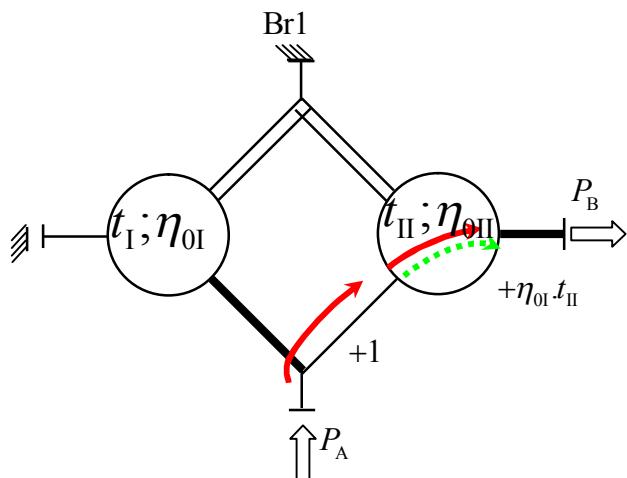
**S13V4Br2**

$$T_A = \frac{t_I + t_I \cdot t_{II} - 1 - t_I}{1 + t_{II}} = \frac{t_I \cdot t_{II} - 1}{1 + t_{II}} > 0$$

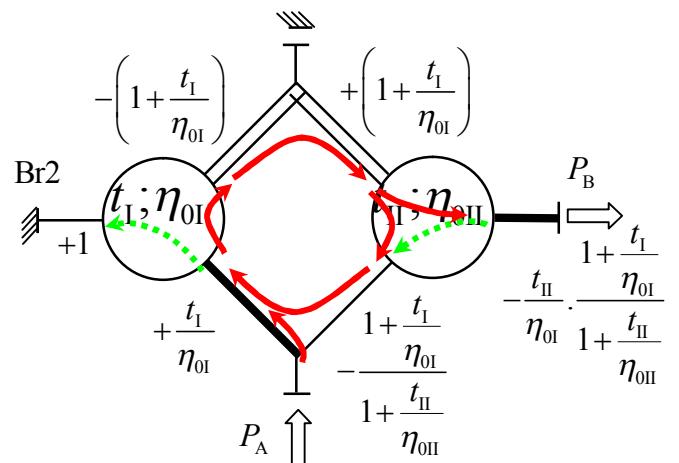
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0II}$$



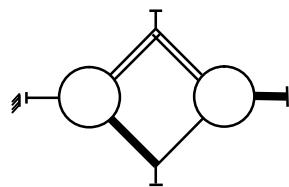
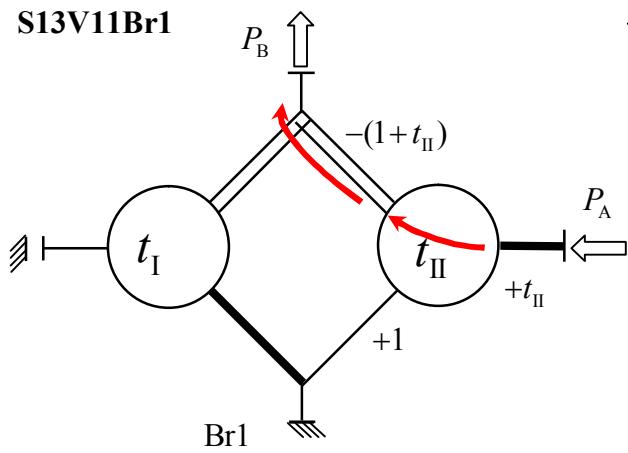
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_{II} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}}} - 1}{\frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{1 + t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

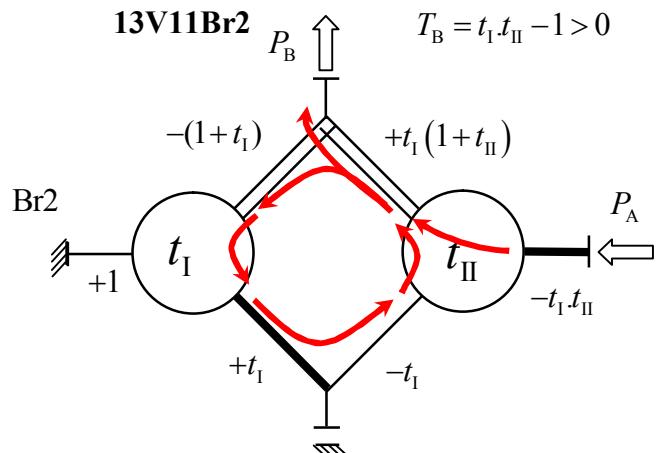
$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

**S13V11****S13V11Br1**

$$i_{\text{Br1}} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{\text{II}}}$$

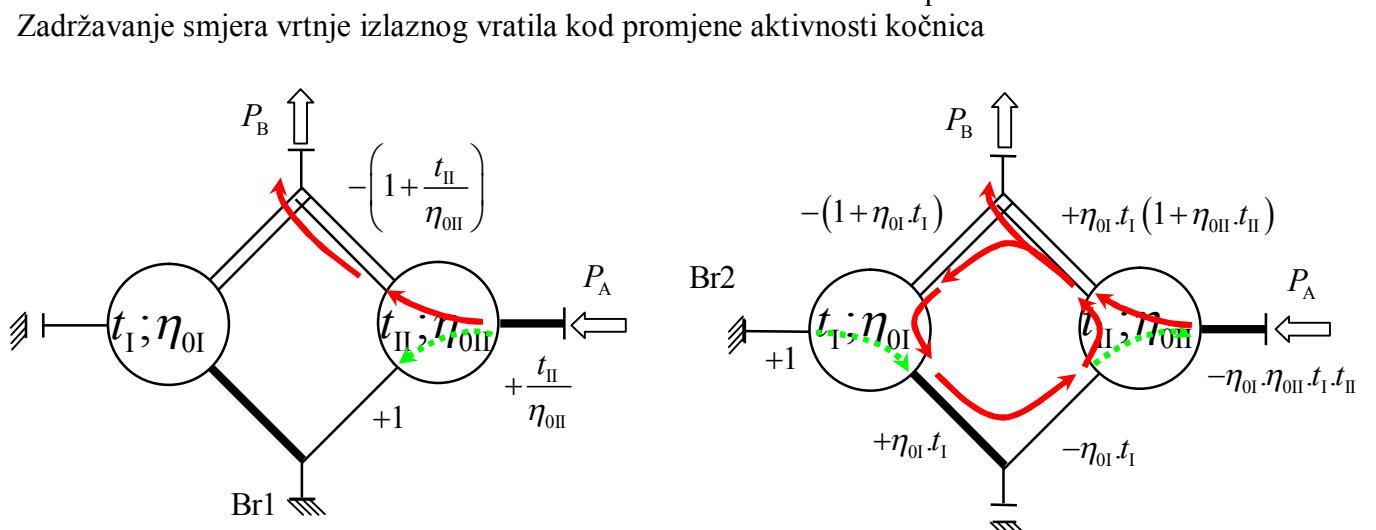
Reduktor

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

**13V11Br2**

$$i_{\text{Br2}} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I.t_{\text{II}} - 1}{t_I.t_{\text{II}}} < 1$$

Multiplikator



$$\eta_{\text{Br1}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}}{1 + \frac{1}{t_{\text{II}}}}$$

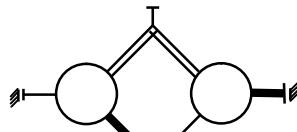
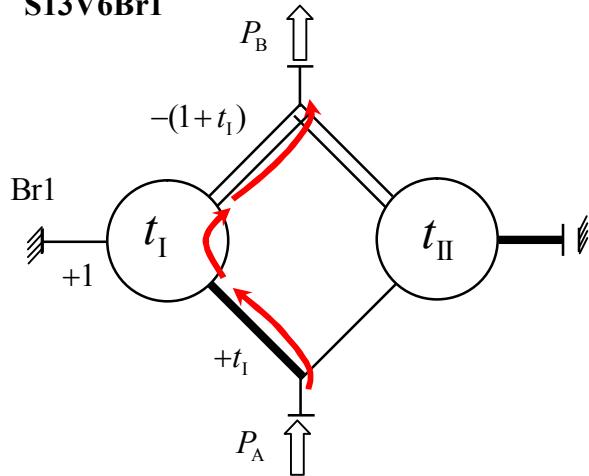
$$\eta_{\text{Br2}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0\text{I}} \cdot \eta_{0\text{II}} \cdot t_{\text{I}} \cdot t_{\text{II}} - 1}{t_{\text{I}} \cdot t_{\text{II}} - 1}}{\frac{\eta_{0\text{I}} \cdot \eta_{0\text{II}} \cdot t_{\text{I}} \cdot t_{\text{II}}}{t_{\text{I}} \cdot t_{\text{II}}}}$$

$$T_{\text{II}} = 0$$

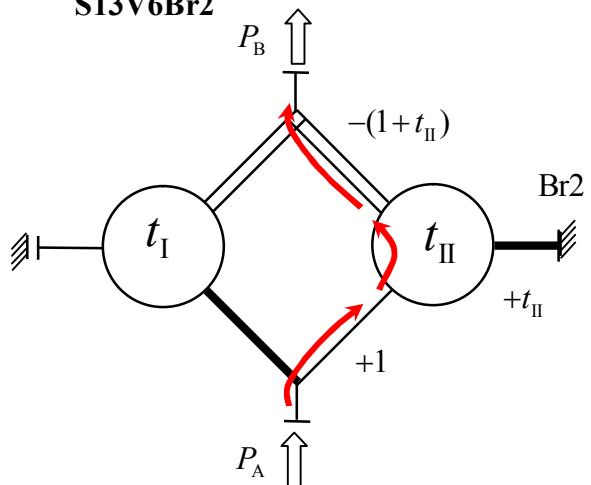
$$T_{\text{III}} = \frac{T_A}{t_{\text{II}}}$$

$$T_{\text{II}} = T_A \frac{1}{t_{\text{I}} \cdot t_{\text{II}}}$$

$$T_{\text{III}} = \frac{T_A}{t_{\text{II}}}$$

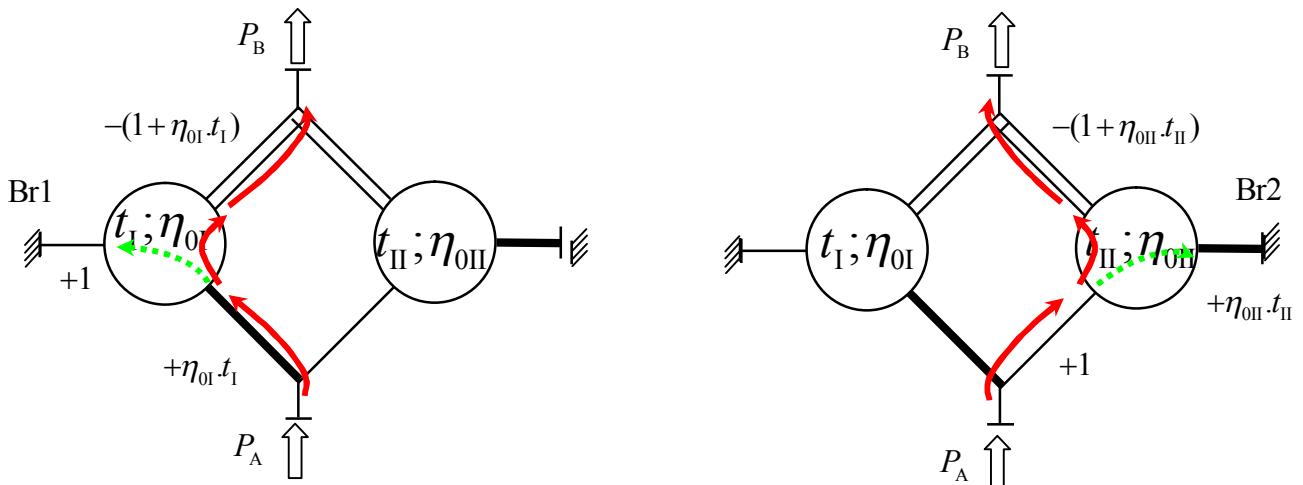
**S13V6****S13V6Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I}$$

**S13V6Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_{II}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

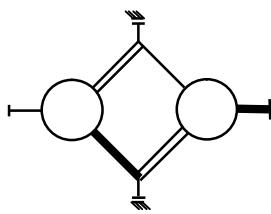
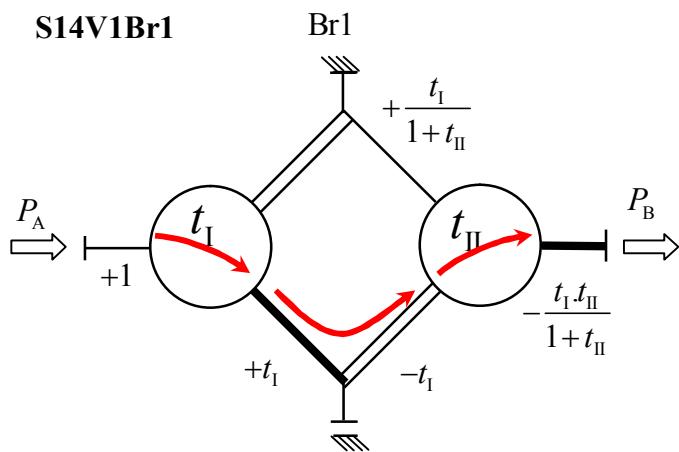
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

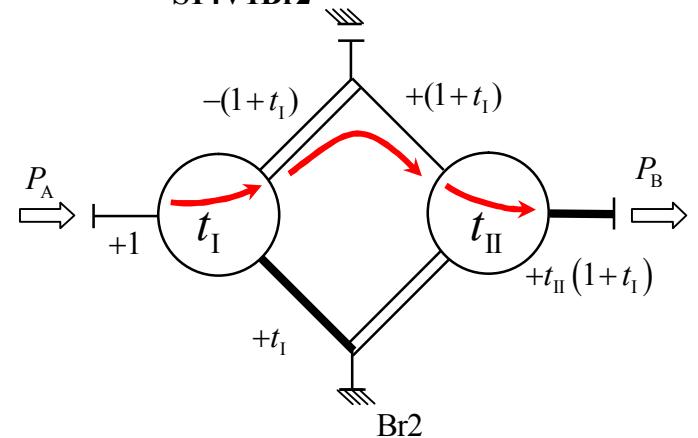
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

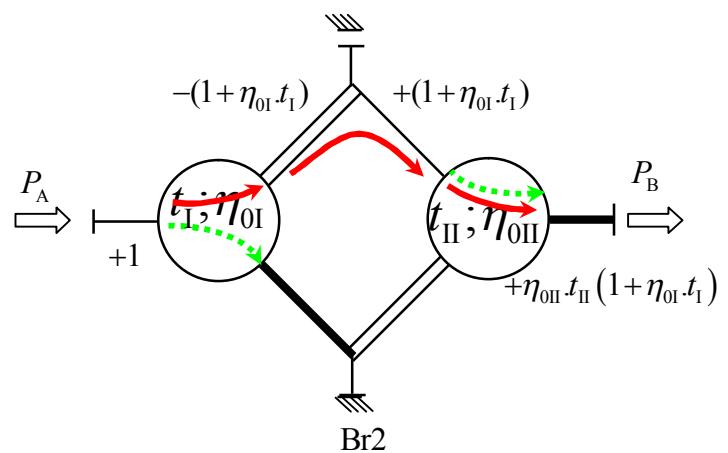
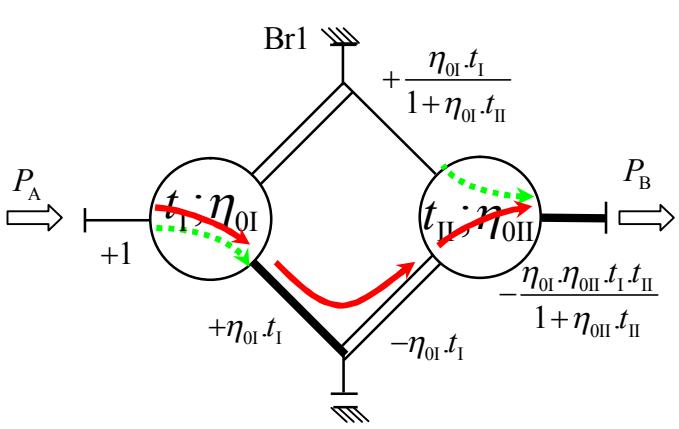
**S14V1****S14V1Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

**S14V1Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -(1 + t_I) \cdot t_{II}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}}{\frac{t_I \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}}$$

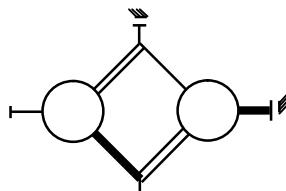
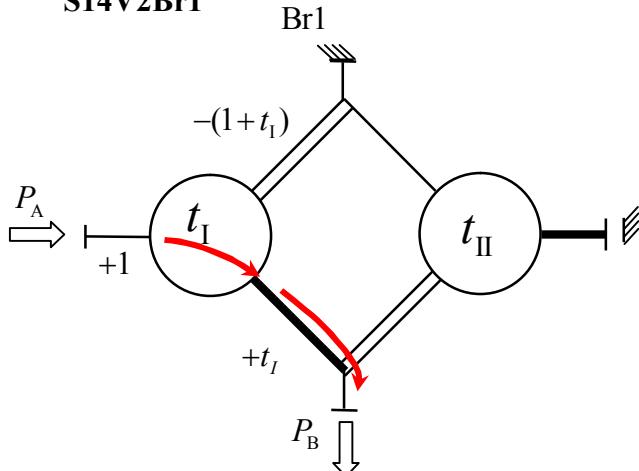
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

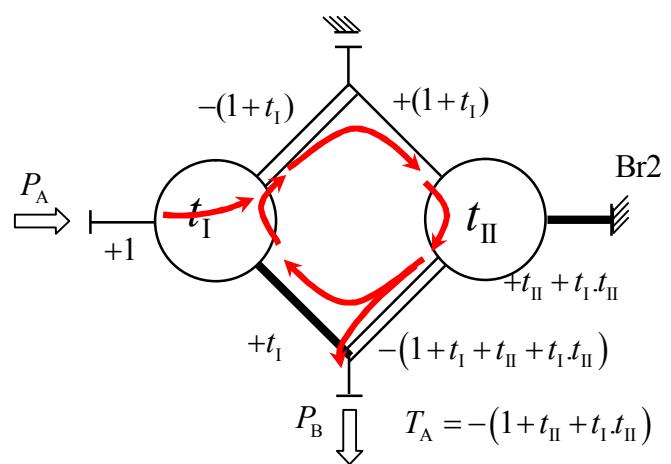
$$T_{III} = \frac{t_I}{1 + t_{II}} T_A$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = (1 + t_I) T_A$$

**S14V2****S14V2Br1**

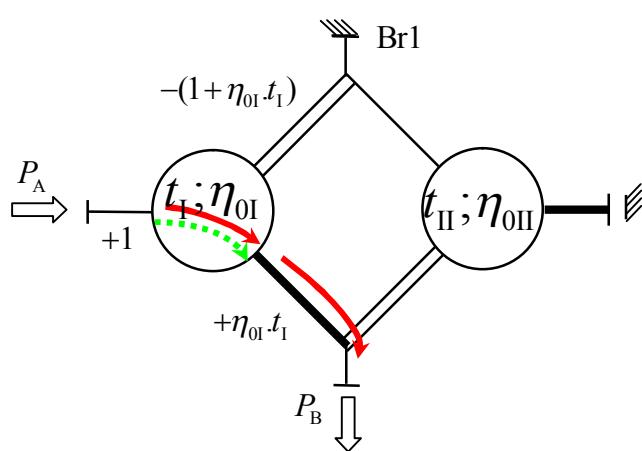
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

**S14V2Br2**

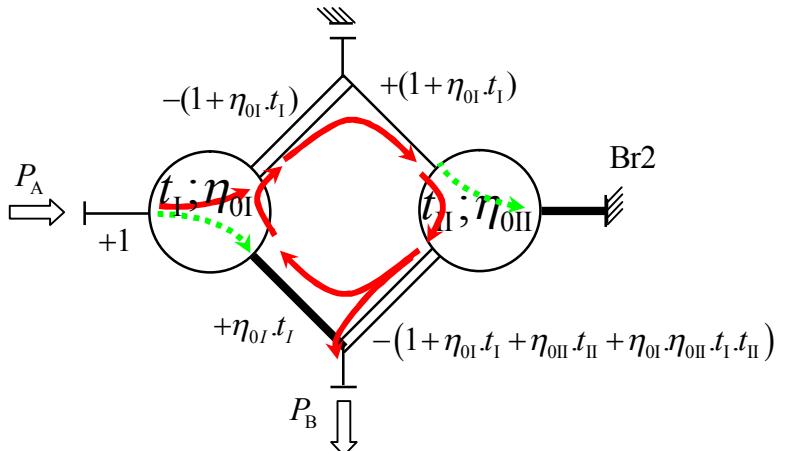
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0I}$$



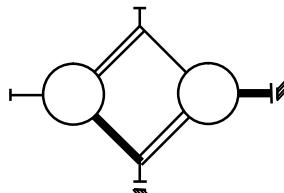
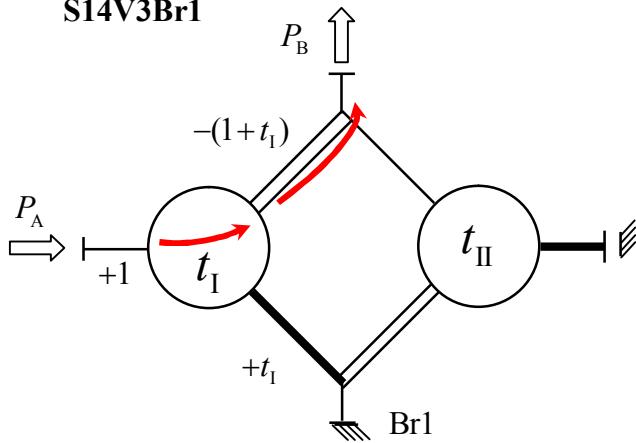
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$

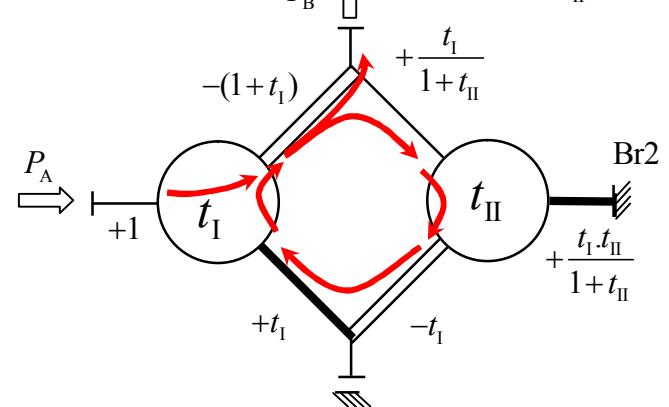
$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = T_A (1 + t_I)$$

**S14V3****S14V3Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$

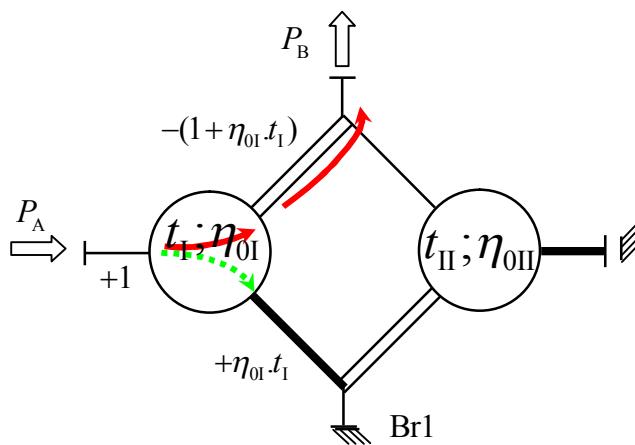
$$T_B = -\frac{1+t_{\text{II}}+t_I \cdot t_{\text{II}}}{1+t_{\text{II}}} < 0$$

**S14V3Br2**

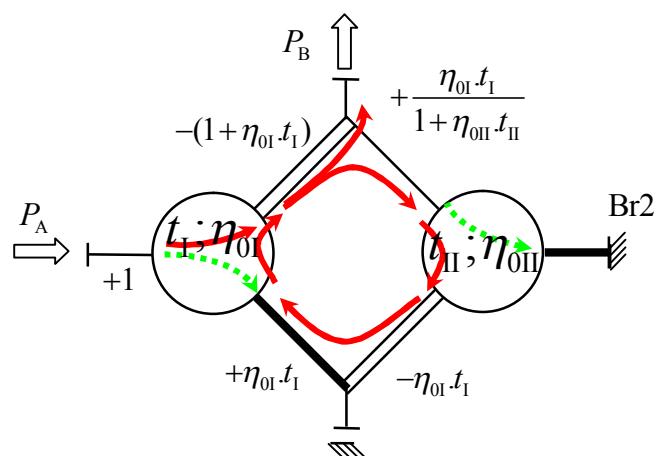
$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_{\text{II}}+t_I \cdot t_{\text{II}}}{1+t_{\text{II}}} = +1 + \frac{t_I \cdot t_{\text{II}}}{1+t_{\text{II}}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1+\eta_{0I} \cdot t_I}{1+t_I}$$



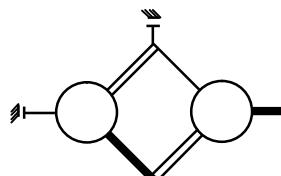
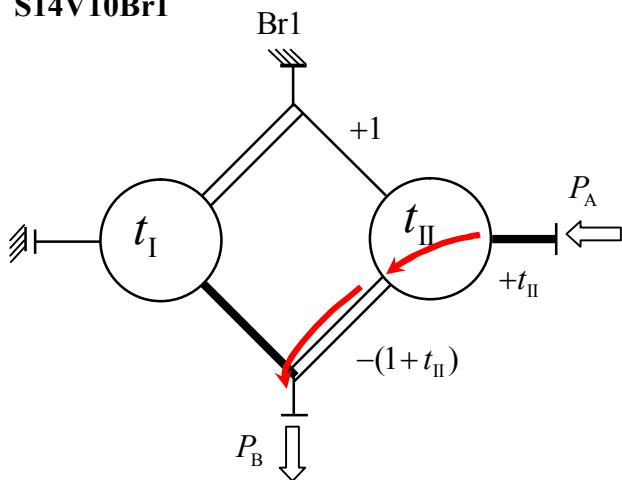
$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0II} \cdot t_{\text{II}} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{\text{II}}}{1+\eta_{0II} \cdot t_{\text{II}}}}{\frac{1+t_{\text{II}}+t_I \cdot t_{\text{II}}}{1+t_{\text{II}}}}$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

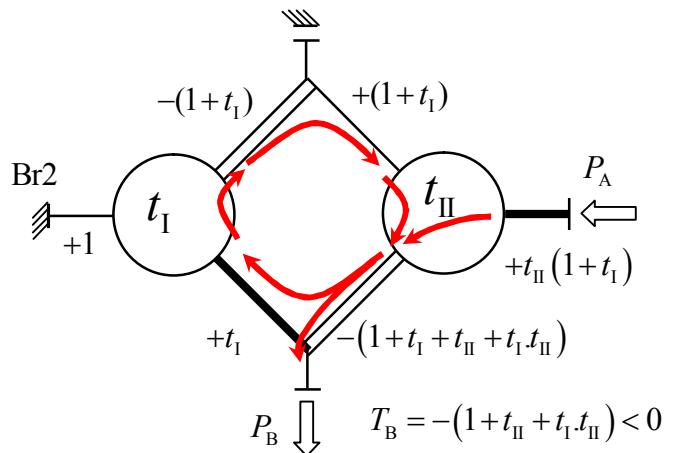
$$T_{\text{III}} = 0$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = T_A \frac{t_I}{1+t_{\text{II}}}$$

**S14V10****S14V10Br1**

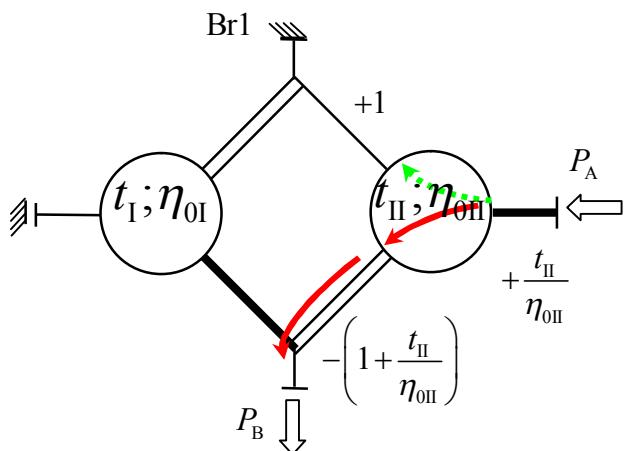
$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{\text{II}}}$$

**S14V10Br2**

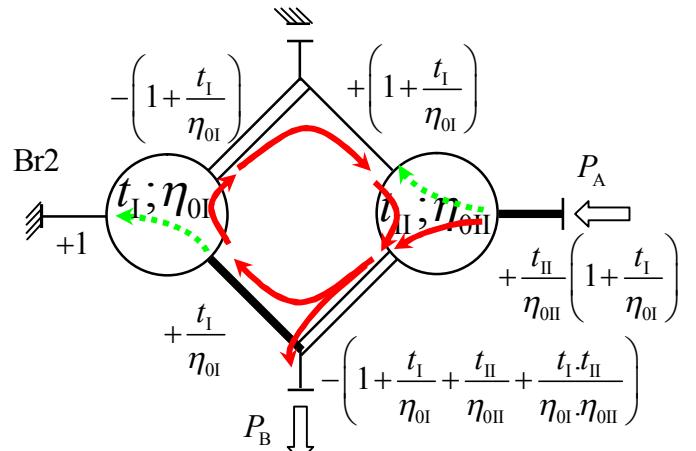
$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_{\text{II}}+t_I.t_{\text{II}}}{t_{\text{II}}+t_I.t_{\text{II}}} = 1 + \frac{1}{t_{\text{II}}+t_I.t_{\text{II}}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0\text{II}}}{t_{\text{II}}}}{1 + \frac{1}{t_{\text{II}}}}$$



$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} + \frac{t_I.t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}.\eta_{0\text{II}}}}{\frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}} + \frac{t_I.t_{\text{II}}}{\eta_{0\text{II}}.\eta_{0\text{II}}}}}{\frac{1 + t_{\text{II}} + t_I.t_{\text{II}}}{t_{\text{II}} + t_I.t_{\text{II}}}}$$

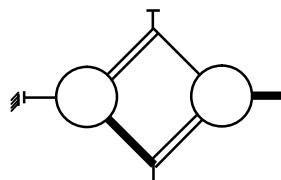
$$T_{\text{II}} = 0$$

$$T_{\text{III}} = \frac{T_A}{t_{\text{II}}}$$

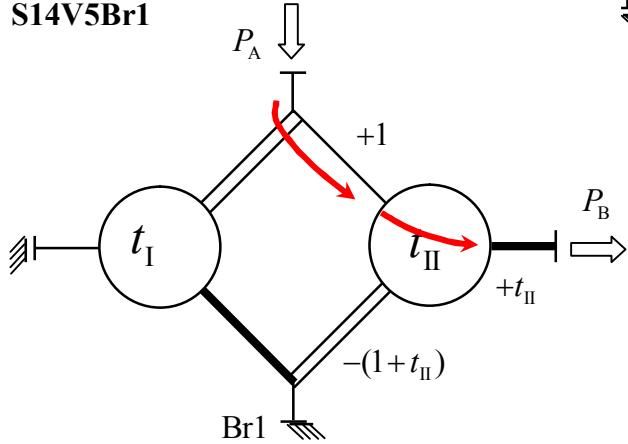
$$T_{\text{II}} = \frac{T_A}{t_{\text{II}} + t_I.t_{\text{II}}}$$

$$T_{\text{III}} = T_A \frac{1}{t_{\text{II}}}$$

S14V5

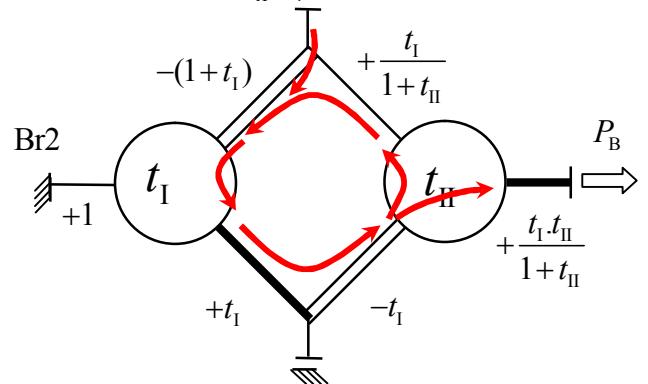


S14V5Br1



$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{II}$$

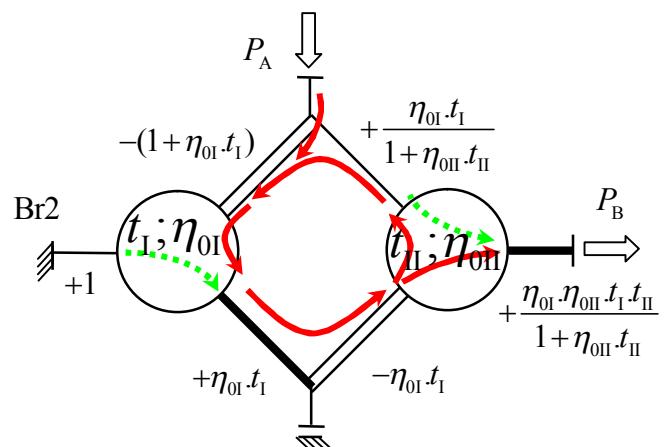
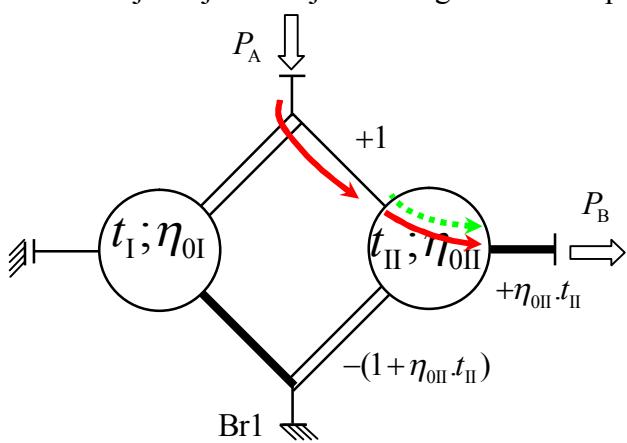
$$S14V5Br2 \quad T_A = -\frac{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{1+t_{II}} < 0$$



$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I \cdot t_{II}}{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}} < 1$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



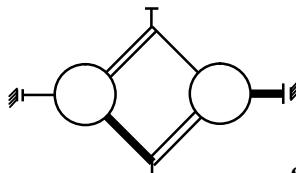
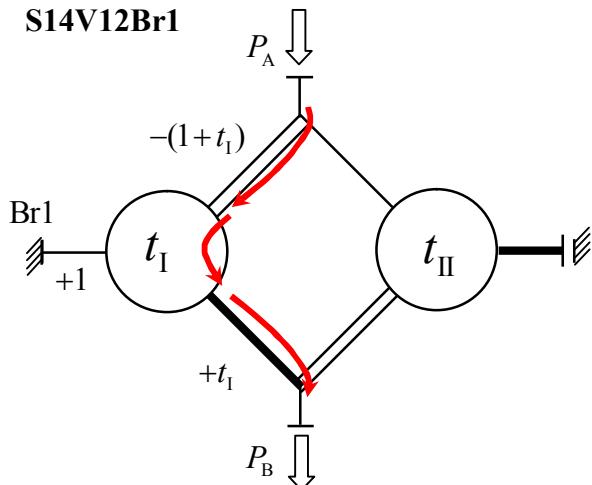
$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0II}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1+\eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}}{\frac{t_I \cdot t_{II}}{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}}$$

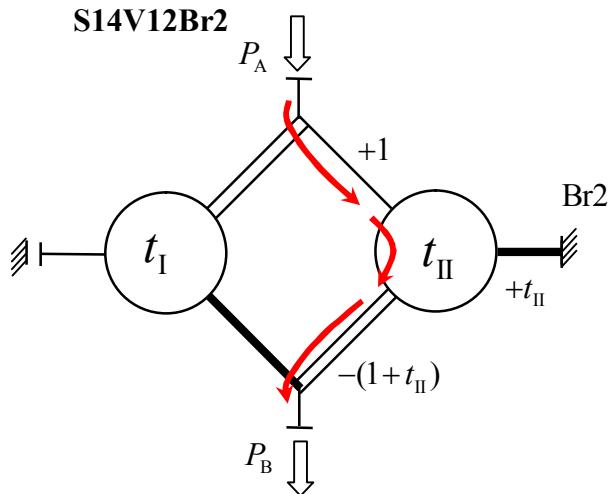
$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{1+t_{II}}{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}} \quad T_{III} = T_A \frac{t_I}{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}$$

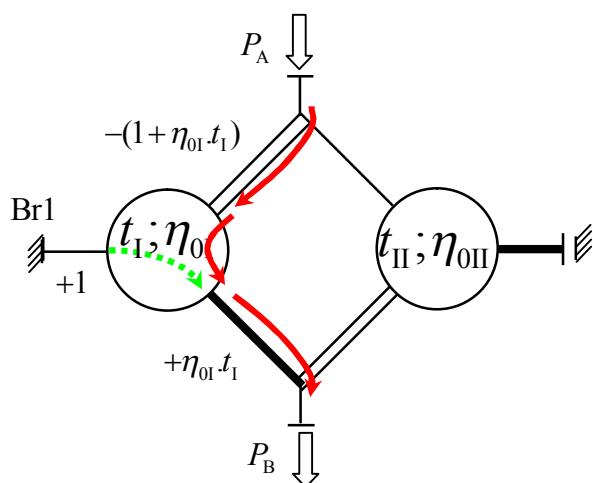
**S14V12****S14V12Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{t_I}{1+t_I} < 1$$

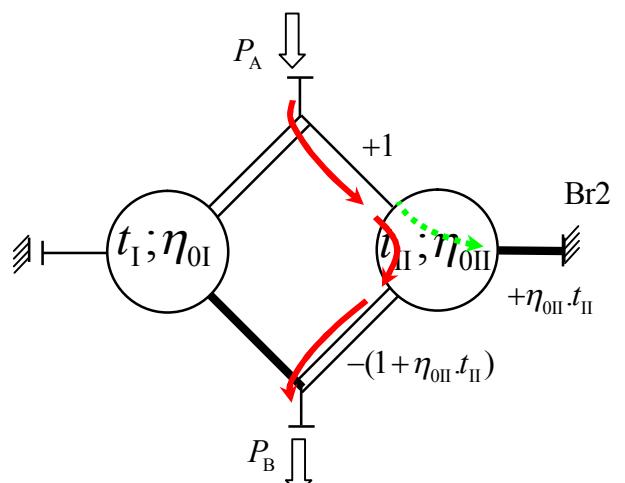
**S14V12Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +1+t_{II} > 1$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{1 + \frac{1}{t_I}}{1 + \frac{1}{\eta_0 \cdot t_I}}$$



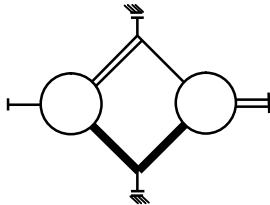
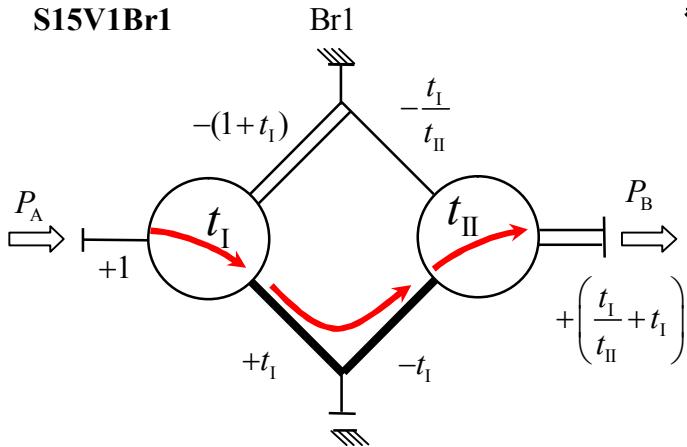
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{1 + \eta_0II \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{1+t_I}$$

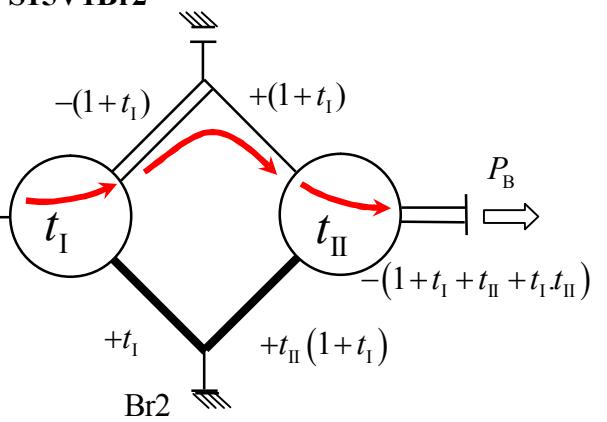
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

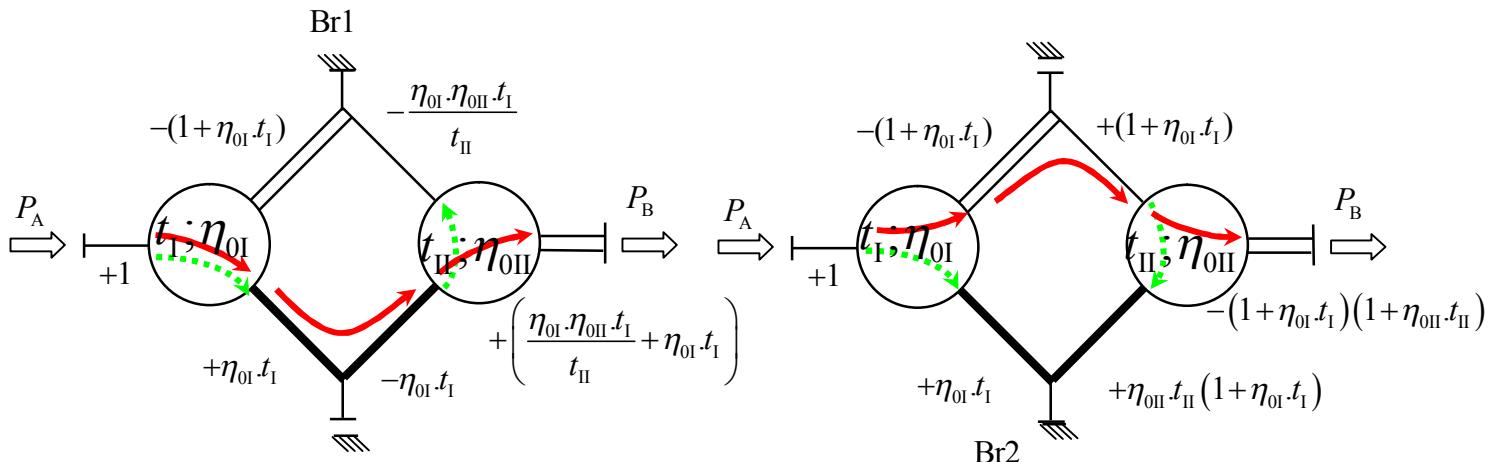
**S15V1****S15V1Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_{\text{II}} + t_I}{+1} = -\left(\frac{t_I + t_{\text{II}}}{t_{\text{II}}}\right) = -\frac{t_I}{t_{\text{II}}} (1 + t_{\text{II}})$$

**S15V1Br2**

$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{-(1+t_I + t_{\text{II}} + t_I \cdot t_{\text{II}})}{+1} = +(1+t_I)(1+t_{\text{II}})$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \eta_{0II} \cdot t_I}{t_{\text{II}}} \left(1 + \frac{t_{\text{II}}}{\eta_{0II}}\right)}{\frac{t_I}{t_{\text{II}}} (1 + t_{\text{II}})}$$

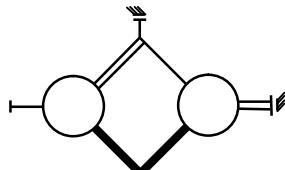
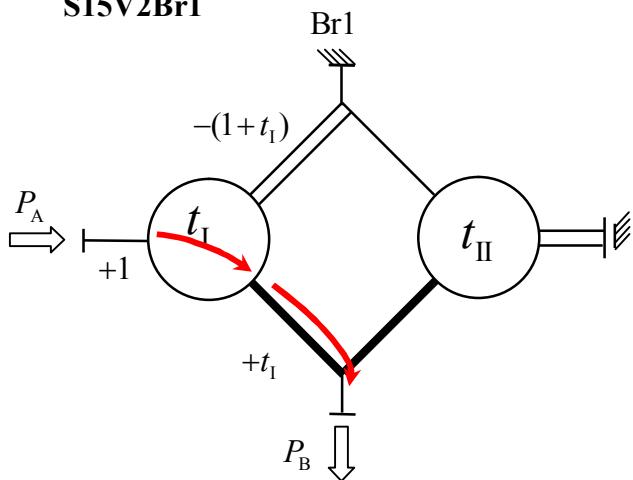
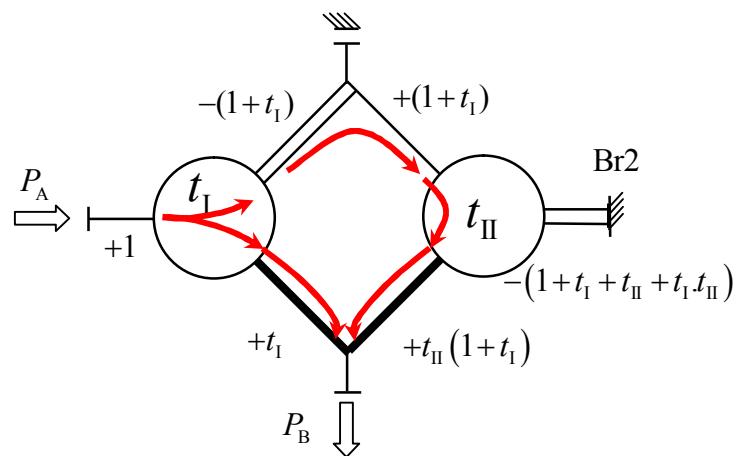
$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{(T_B)_{\text{s gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{(1 + \eta_{0I} \cdot t_I)(1 + \eta_{0II} \cdot t_{\text{II}})}{(1 + t_I)(1 + t_{\text{II}})}$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = T_A \frac{t_I}{t_{\text{II}}}$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

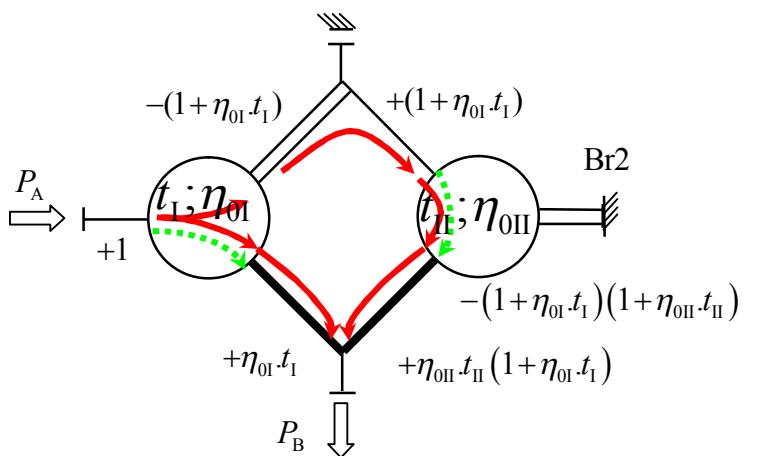
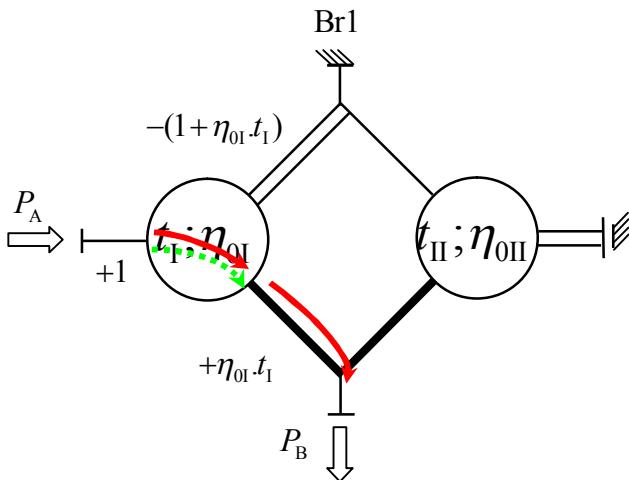
$$T_{\text{III}} = T_A (1 + t_I)$$

**S15V2****S15V2Br1****S15V2Br2**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -(t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II})$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{sgubicima}}{(T_B)_{bez gubitaka}} = \eta_{0I}$$

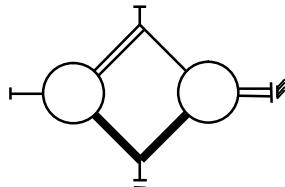
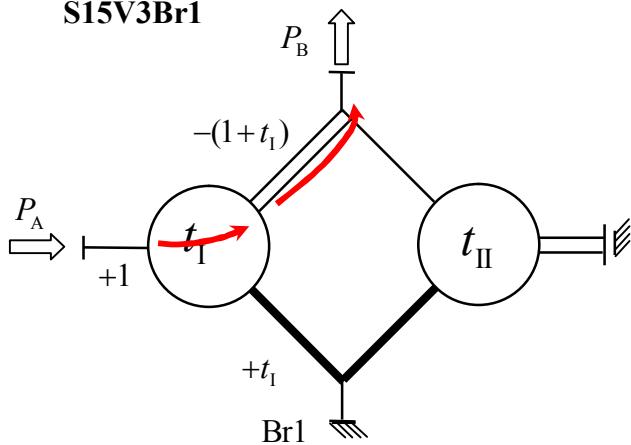
$$\eta_{Br2} = \frac{(T_B)_{sgubicima}}{(T_B)_{bez gubitaka}} = \frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

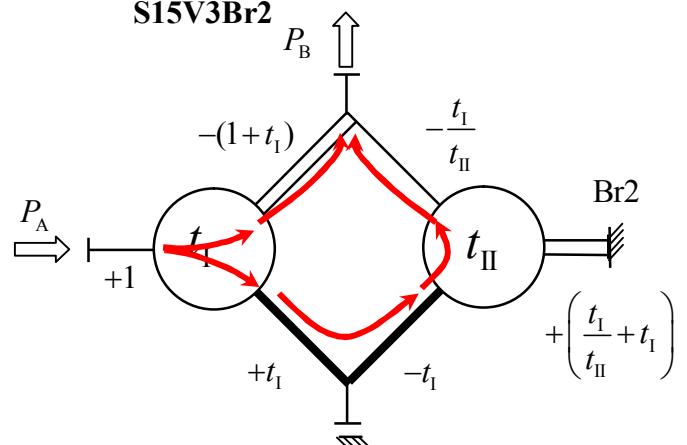
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = (1+t_I)T_A$$

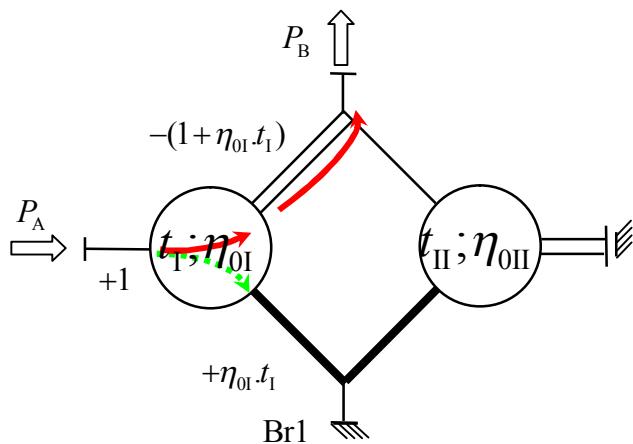
**S15V3****S15V3Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$

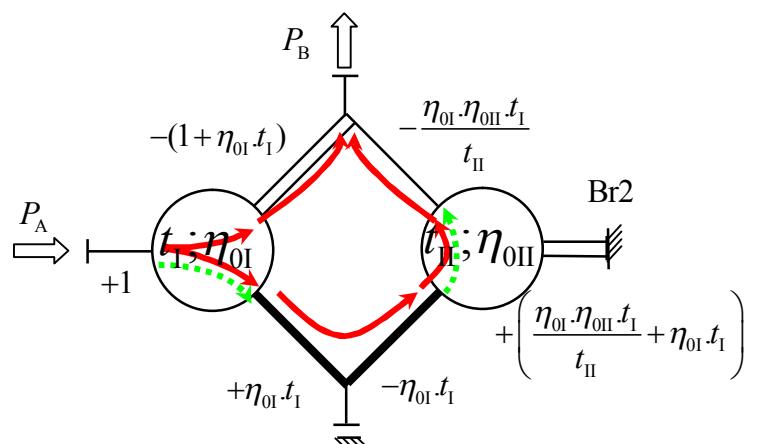
**S15V3Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I + \frac{t_I}{t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{s \text{ gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$



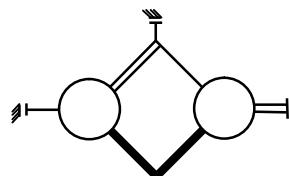
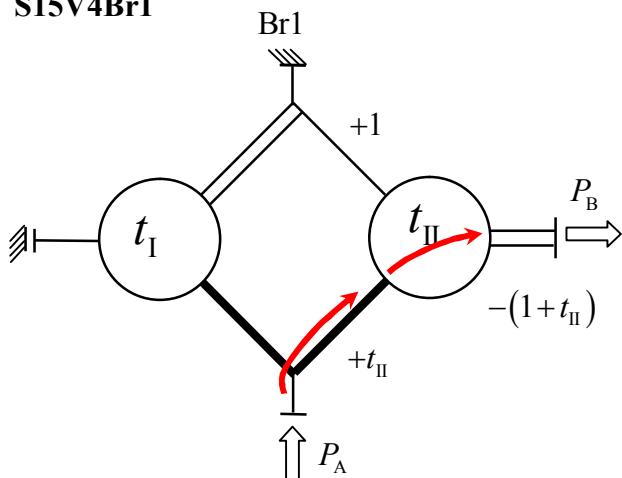
$$\eta_{Br2} = \frac{(T_B)_{s \text{ gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I}{t_{II}}}{1 + t_I + \frac{t_I}{t_{II}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

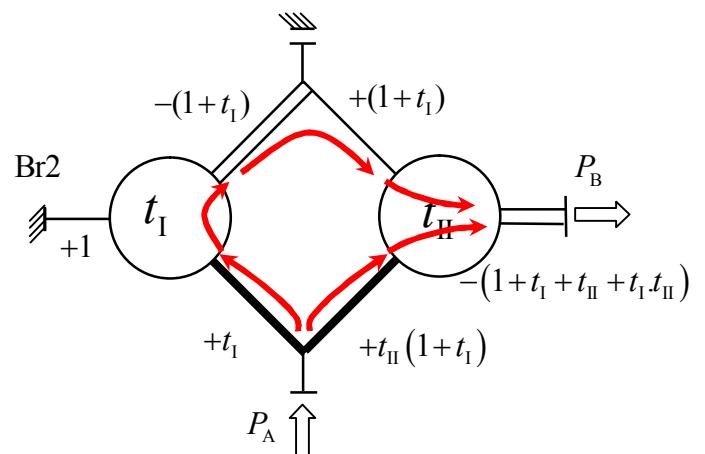
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = \frac{t_I}{t_{II}} T_A$$

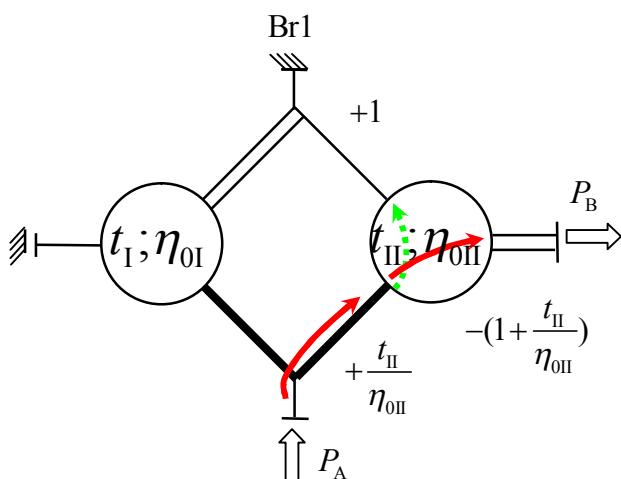
**S15V4****S15V4Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}}$$

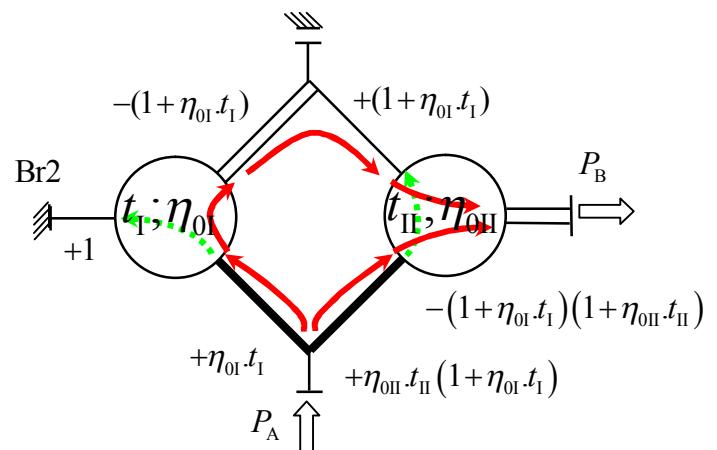
**S15V4Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_I+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{t_I+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}$$

Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0II}}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$



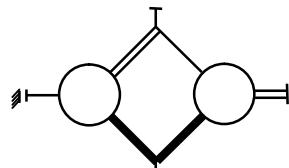
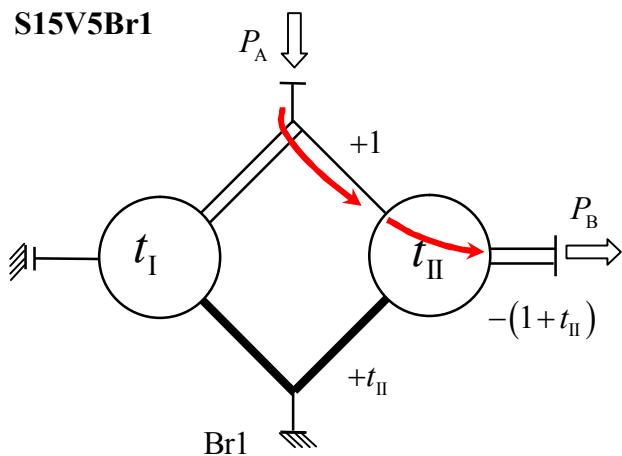
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}{\frac{t_I}{\eta_{0I}} + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}}{\frac{1 + t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

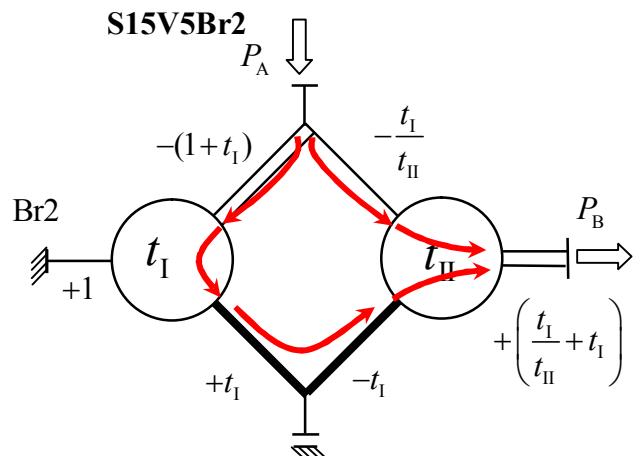
$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}} = T_{II} \cdot (1 + t_I)$$

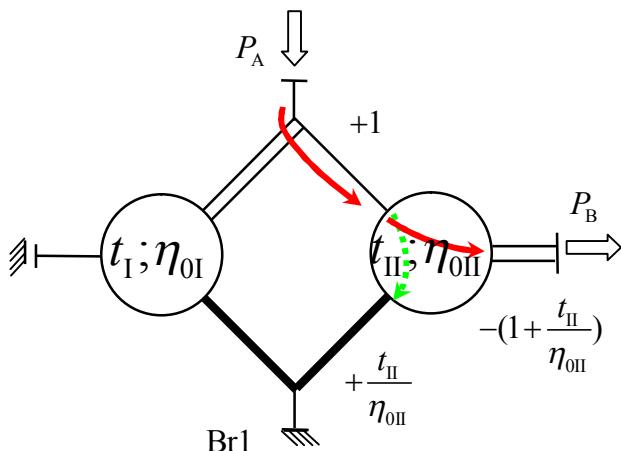
**S15V5****S15V5Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_{II}$$

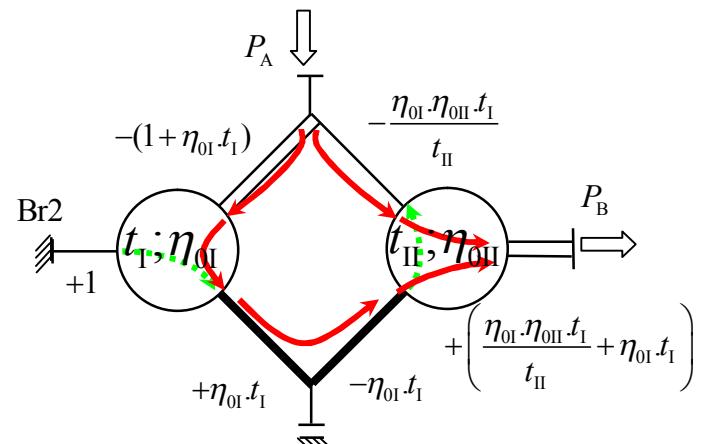
**S15V5Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}} < 1$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$



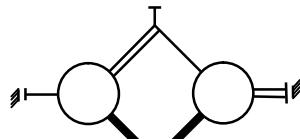
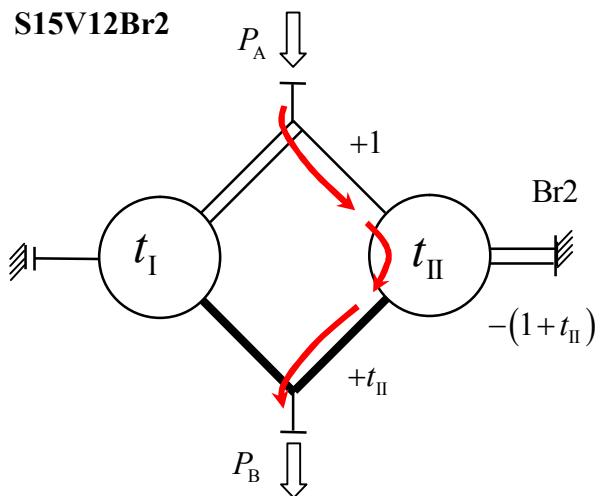
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I}{t_{II}}}{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}} = \frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \frac{\eta_{0I} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I} \cdot t_I + \frac{\eta_{0II} \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

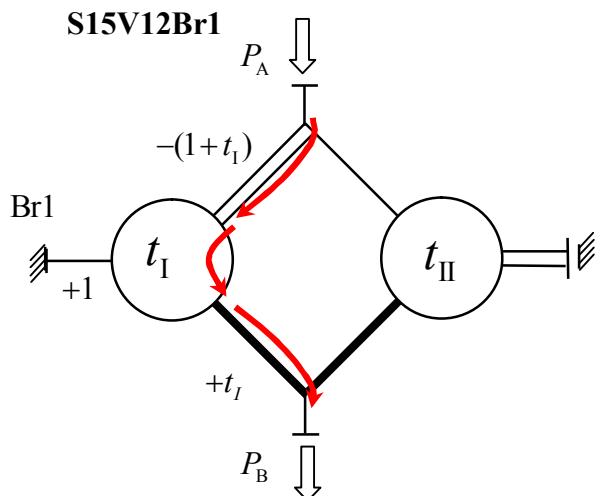
$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{1 + t_I + \frac{t_I}{t_{II}}}$$

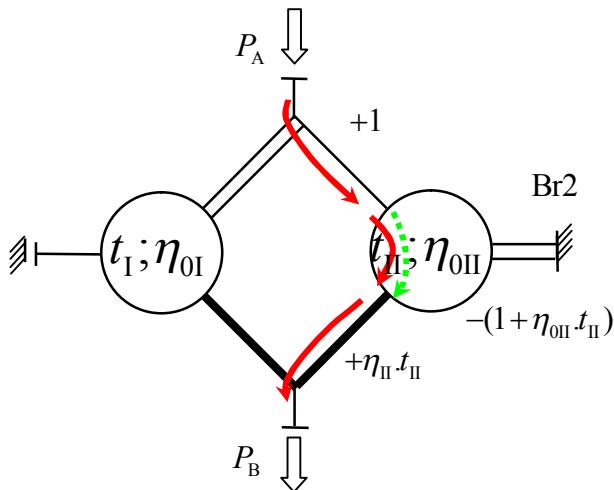
$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

**S15V12****S15V12Br2**

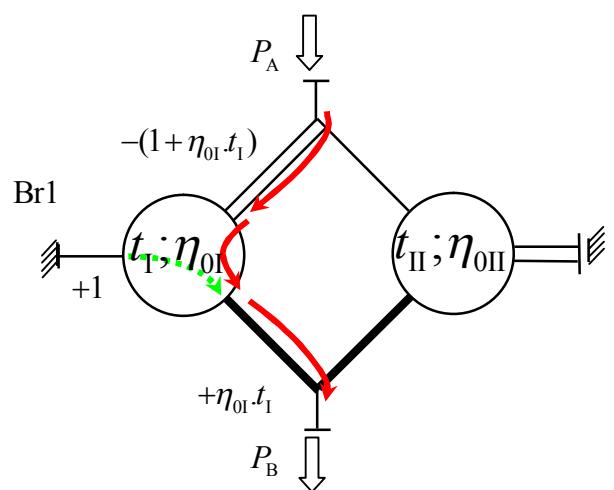
$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{\text{II}}$$

**S15V12Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I}{1+t_I} < 1$$

**Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica**

$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0\text{II}}$$



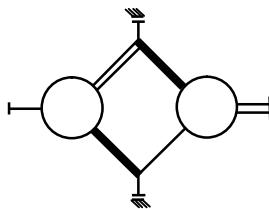
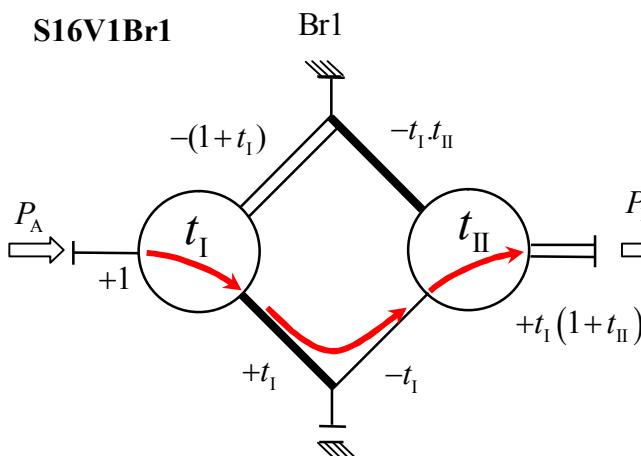
$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{1}{t_I}}{1 + \frac{1}{\eta_{0I} \cdot t_I}}$$

$$T_{\text{II}} = 0$$

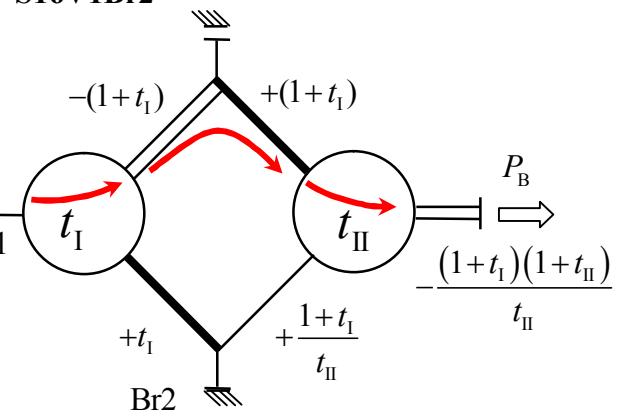
$$T_{\text{III}} = T_A$$

$$T_{\text{II}} = \frac{T_A}{1+t_I}$$

$$T_{\text{III}} = 0$$

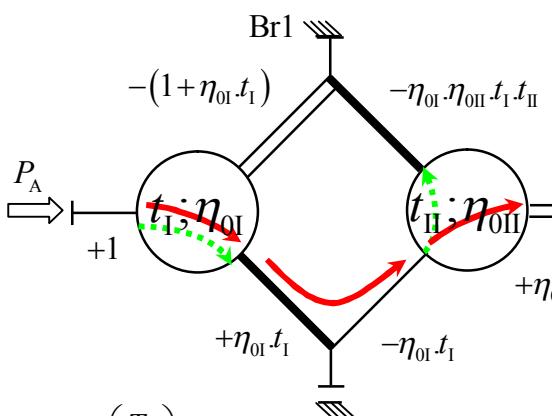
**S16V1****S16V1Br1**

$$i_{\text{Br1}} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I(1+t_{\text{II}}) < 0$$

**S16V1Br2**

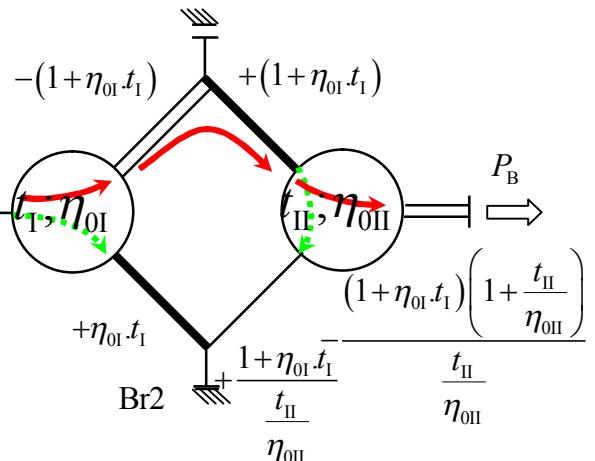
$$i_{\text{Br2}} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{(1+t_I)(1+t_{\text{II}})}{t_{\text{II}}} > 0$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

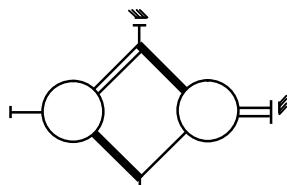
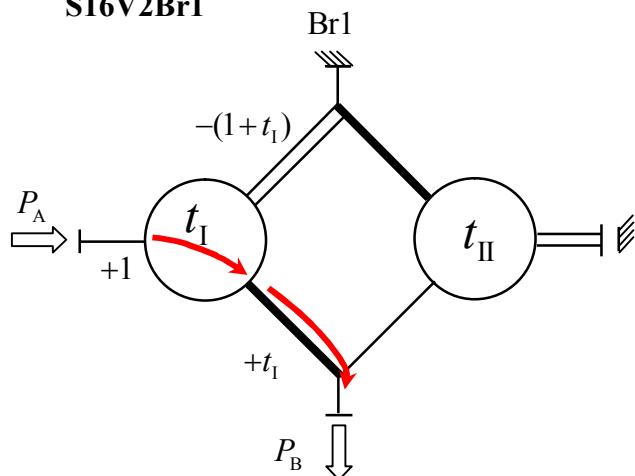


$$\eta_{\text{Br1}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0I} \cdot t_I (1 + \eta_{0II} \cdot t_{II})}{t_I (1 + t_{II})}$$

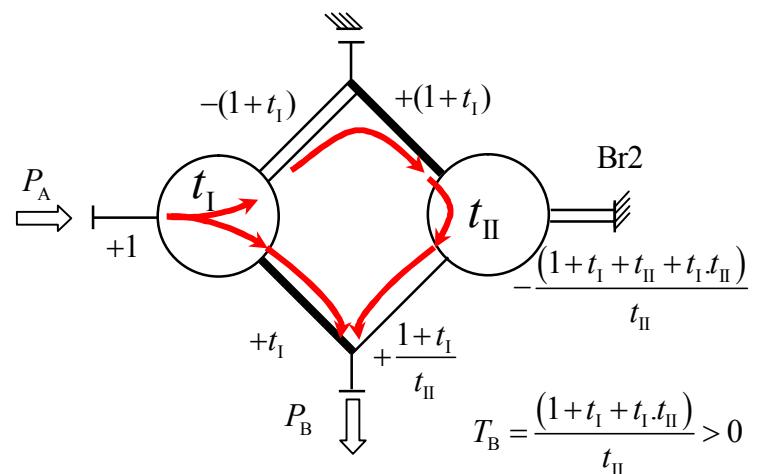
$$\eta_{\text{Br2}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\left(1 + \eta_{0I} \cdot t_I\right) \left(1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right) \eta_{0II}}{\frac{(1+t_I)(1+t_{II})}{t_{II}}} = \frac{\left(1 + \eta_{0I} \cdot t_I\right) \left(1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}\right) \eta_{0II}}{(1+t_I)(1+t_{II})}$$



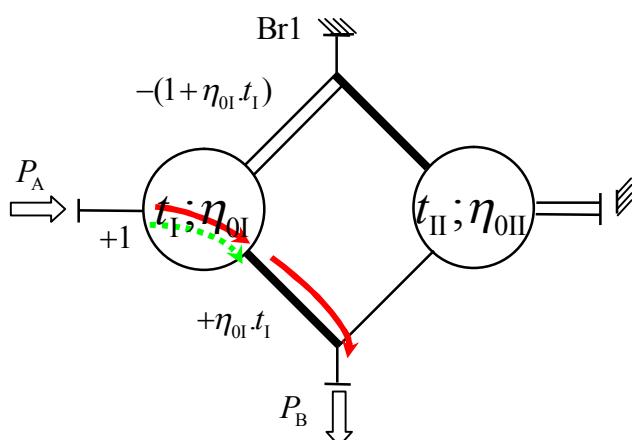
$$T_{II} = T_A \quad T_{III} = T_A \cdot t_I \quad T_{II} = T_A \quad T_{III} = T_A \frac{(1+t_I)}{t_{II}}$$

**S16V2****S16V2Br1**

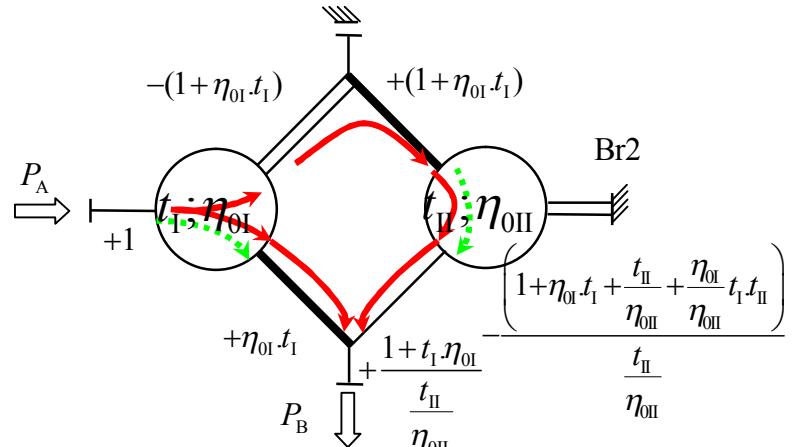
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

**S16V2Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1+t_I+t_I*t_II}{t_II} = -t_I - \frac{1+t_I}{t_II}$$

**Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica**

$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0I}$$



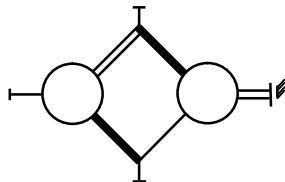
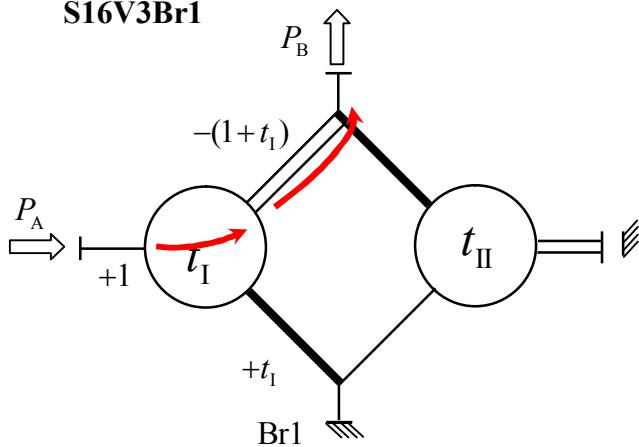
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{\left(1+\eta_{0I}*t_I + \frac{\eta_{0I}}{\eta_{0II}}*t_I*t_{II}\right)*\eta_{0II}}{1+t_I*t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

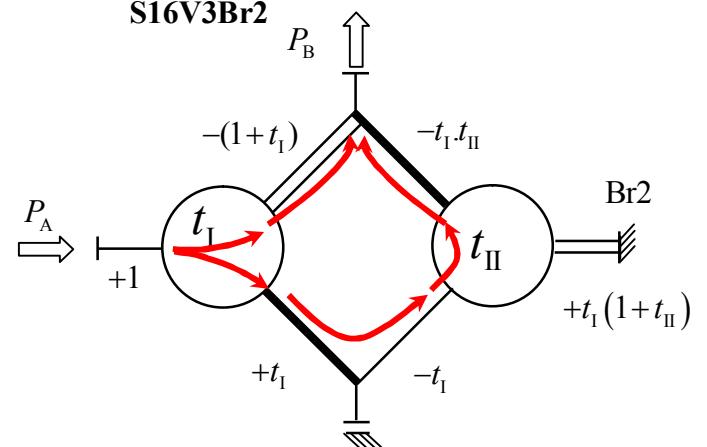
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A$$

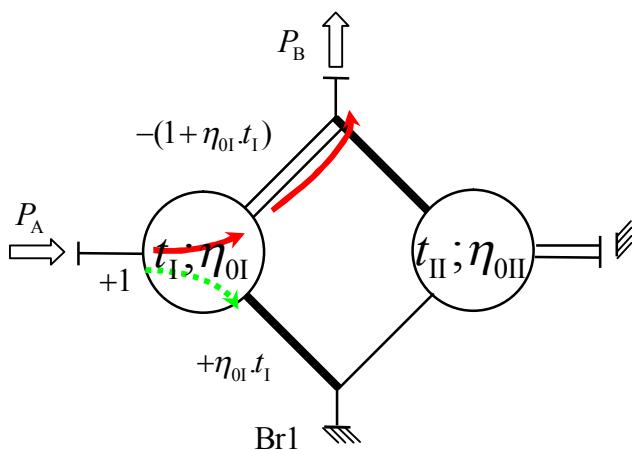
$$T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_{II}}$$

**S16V3****S16V3Br1**

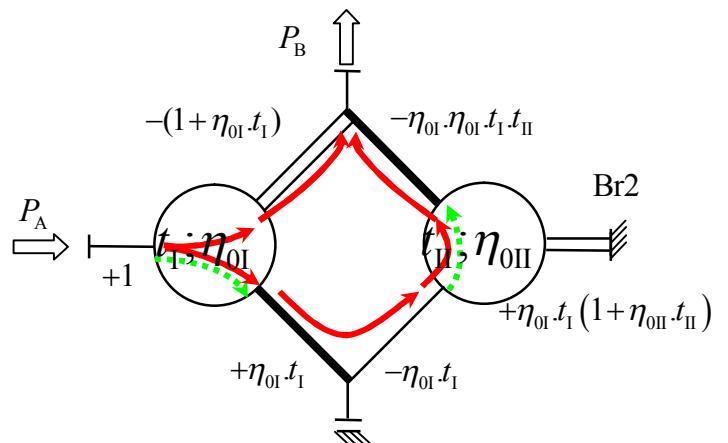
$$i_{\text{Br1}} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_1$$

**S16V3Br2**

$$i_{\text{Br2}} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_1 + t_1 \cdot t_{\text{II}}$$

**Zadržavanje smjera vrtanja izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica**

$$\eta_{\text{Br1}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_1}{1 + t_1}$$



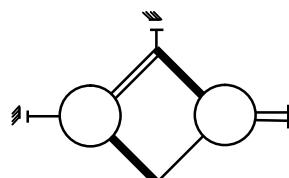
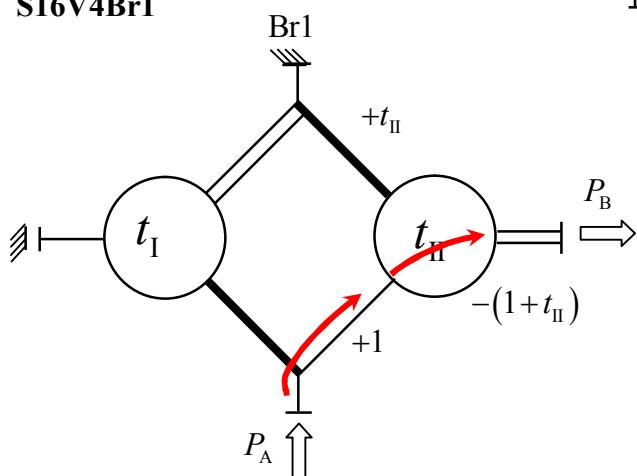
$$\eta_{\text{Br2}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_1 + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_1 \cdot t_{\text{II}}}{1 + t_1 + t_1 \cdot t_{\text{II}}}$$

$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = 0$$

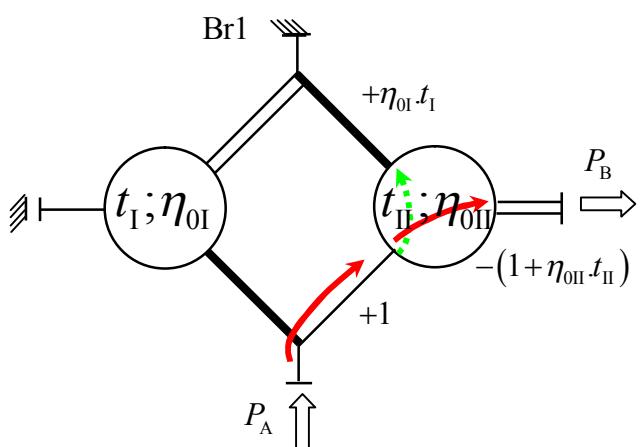
$$T_{\text{II}} = T_A$$

$$T_{\text{III}} = T_A \cdot t_1$$

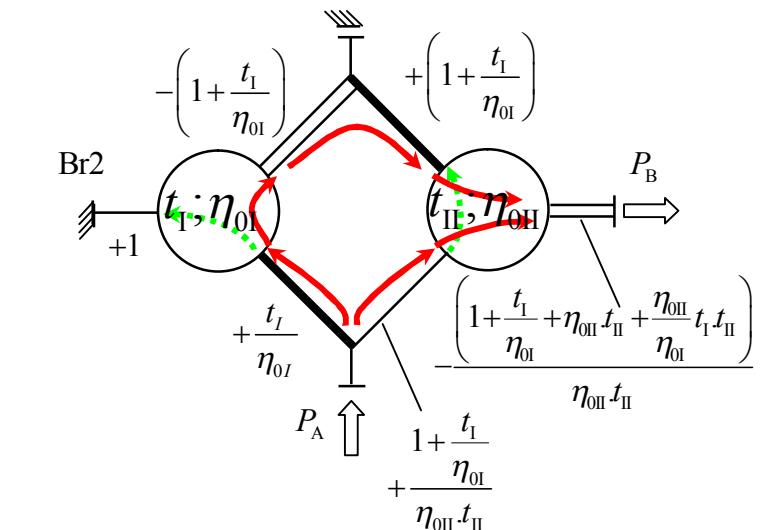
**S16V4****S16V4Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_{II}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1 + t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}} = 1 + \frac{t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

**Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica**

$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$



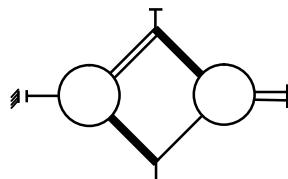
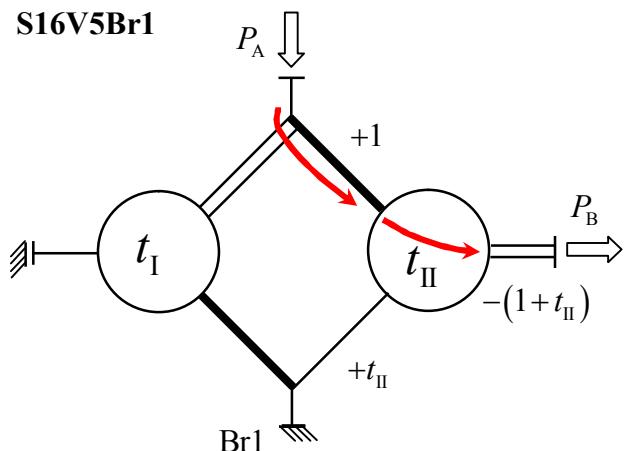
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0II} \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II} \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}}{\frac{1 + t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

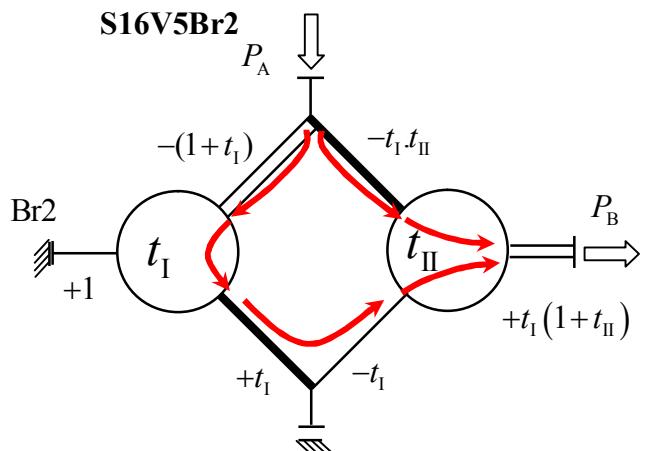
$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

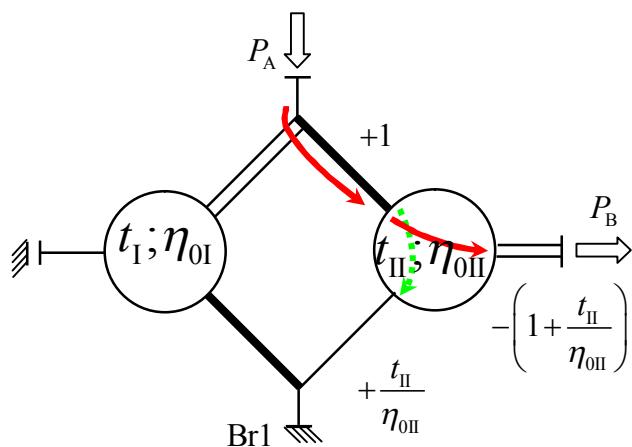
**S16V5****S16V5Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}}$$

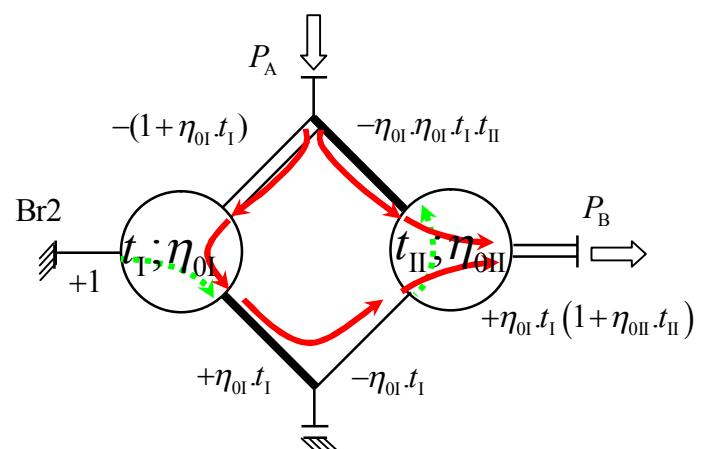
**S16V5Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}} < 1$$

Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0II}}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$



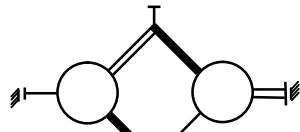
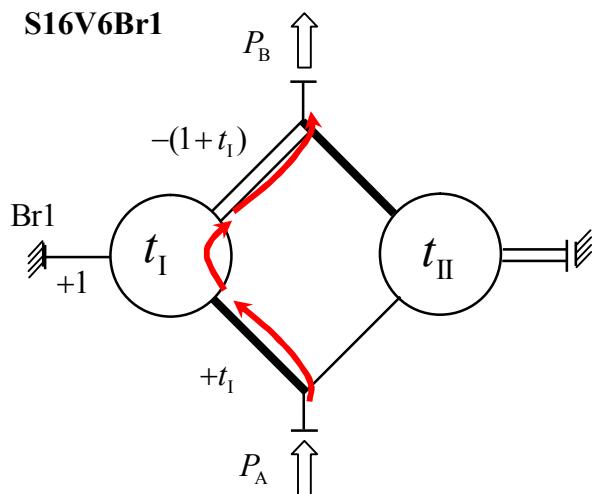
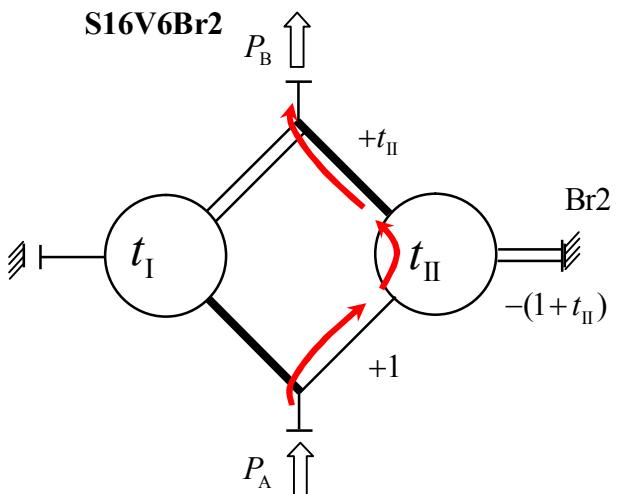
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}}{\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A \cdot t_{II}$$

$$T_{II} = T_A \frac{1}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

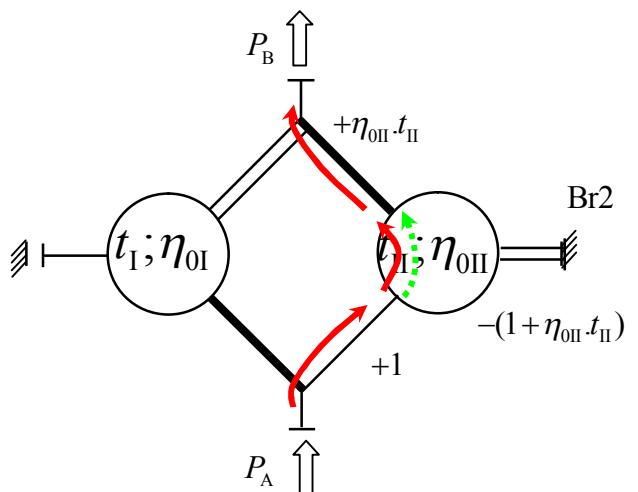
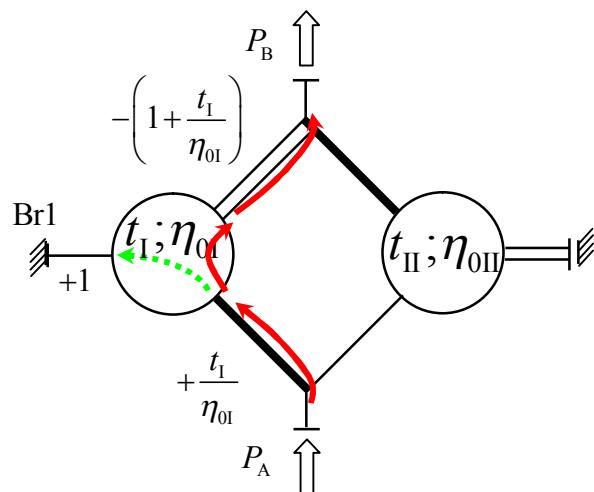
$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{1 + t_I + t_I \cdot t_{II}} = T_{II} \cdot t_I$$

**S16V6****S16V6Br1****S16V6Br2**

$$i_{\text{Br1}} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I}$$

$$i_{\text{Br2}} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{II}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br1}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

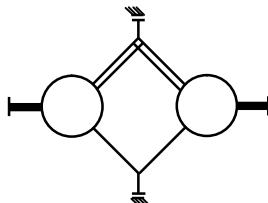
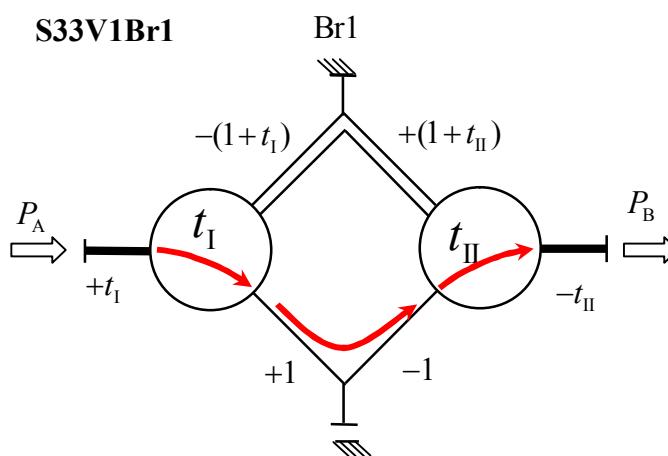
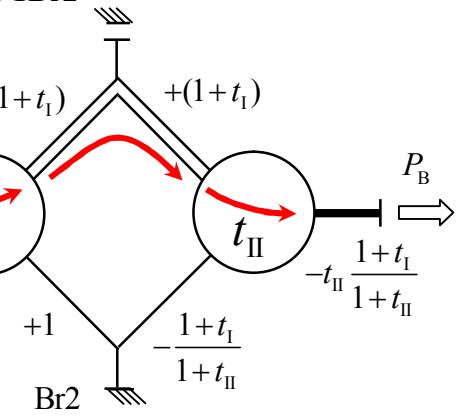
$$\eta_{\text{Br2}} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0II}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

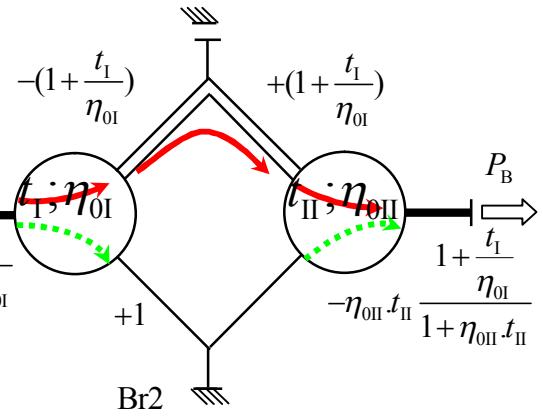
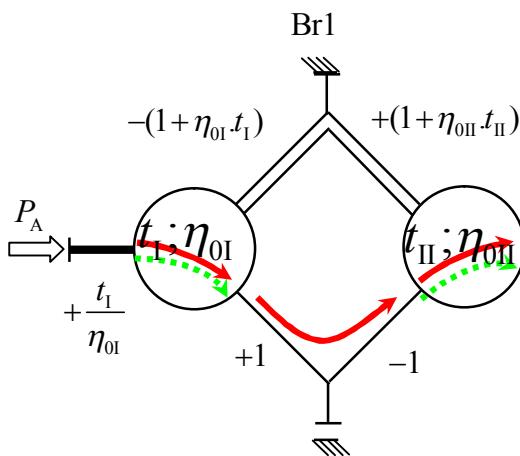
$$T_{III} = T_A$$

**S33V1****S33V1Br1****S33V1Br2**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_{II}}{t_I}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_{II}}{t_I} \cdot \frac{1+t_I}{1+t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0I} \cdot \eta_{0II}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot \frac{t_{II}}{t_I} \cdot \frac{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}}{1+\eta_{0II} \cdot t_{II}}}{\frac{t_{II}}{t_I} \cdot \frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})}} = \frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot \frac{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}}{1+\eta_{0II} \cdot t_{II}}}{\frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})}}$$

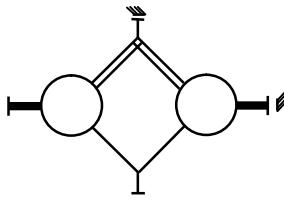
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I}$$

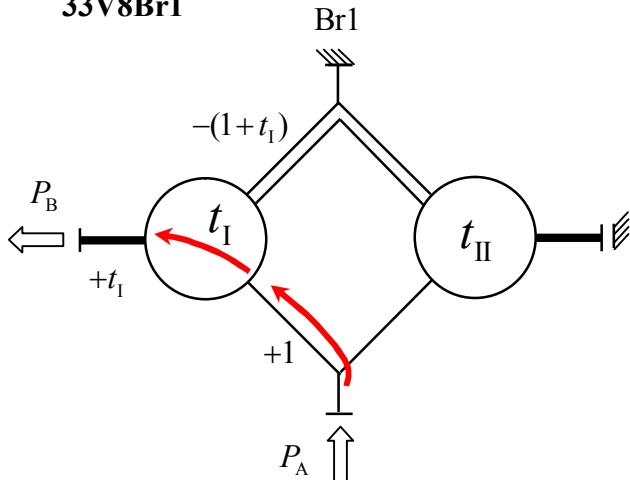
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = T_A \frac{(1+t_I)}{(1+t_{II})t_I}$$

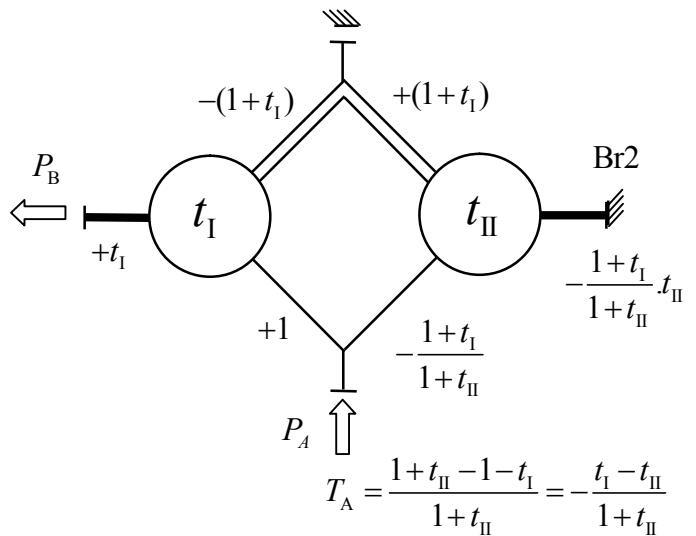
S33V8



33V8Br1



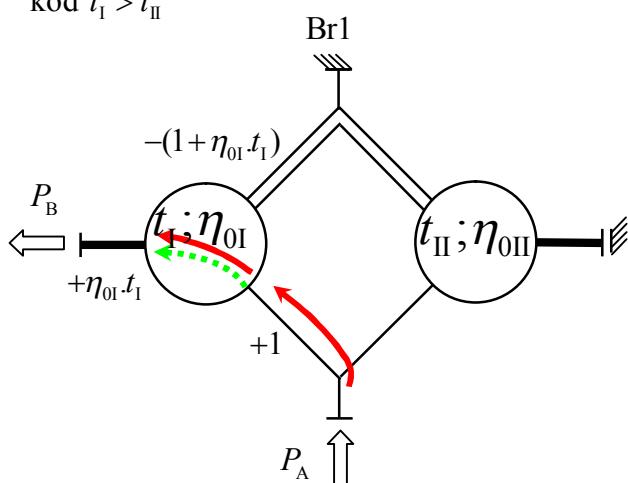
S33V8Br2



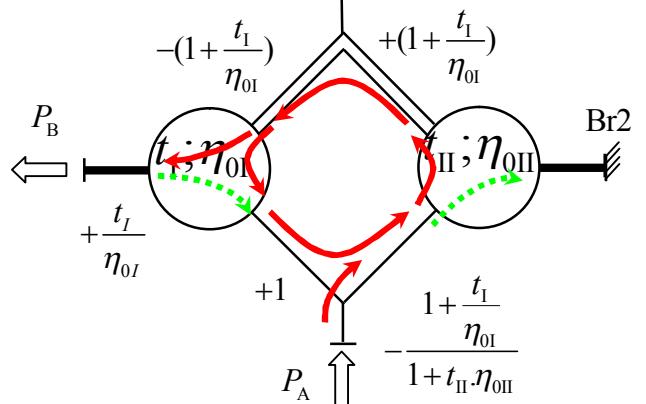
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I(1+t_{II})}{t_I-t_{II}}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica  
kod  $t_I > t_{II}$



$$T_A = -\frac{t_I-t_{II}}{1+t_{II}} < 0 \quad i_{Br2} = +\frac{t_I(1+t_{II})}{t_I-t_{II}} > 0$$



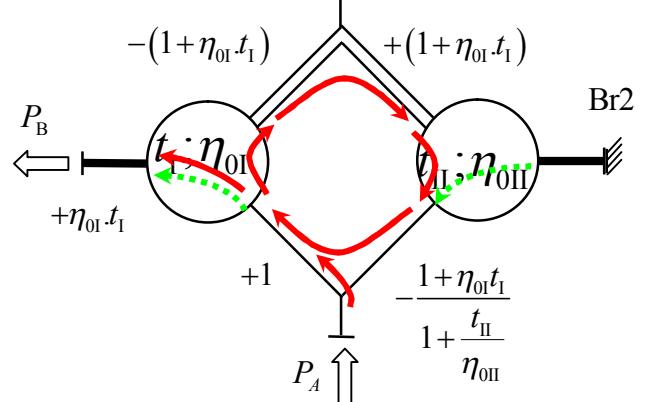
$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\frac{t_I + \frac{\eta_{0II}}{\eta_{0I}} t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} + \eta_{0I}}}{\frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} - t_{II} \cdot \eta_{0II}}{\eta_{0I}}} = \frac{\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{t_I - t_{II}}}{\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{t_I - t_{II}}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

kod  $t_I < t_{II}$

$$T_B = -\frac{t_I - t_{II}}{1 + t_{II}} > 0 \quad i_{Br2} = +\frac{t_I(1+t_{II})}{t_I - t_{II}} < 0$$



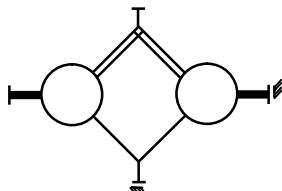
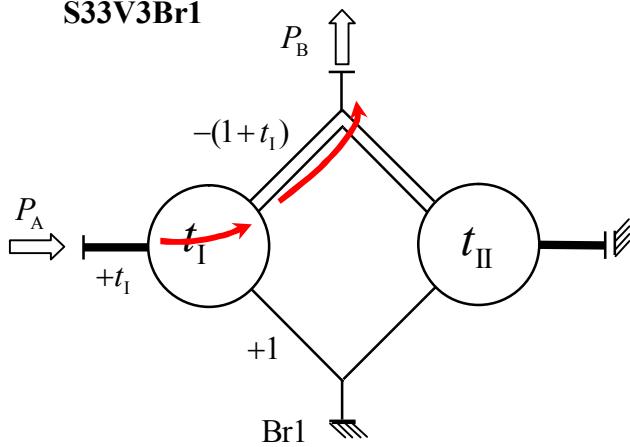
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{sgubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \frac{\eta_{0I}}{\eta_{0III}} t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0III}}}{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I - \frac{t_{II}}{\eta_{0III}}}{\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{t_I - t_{II}}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

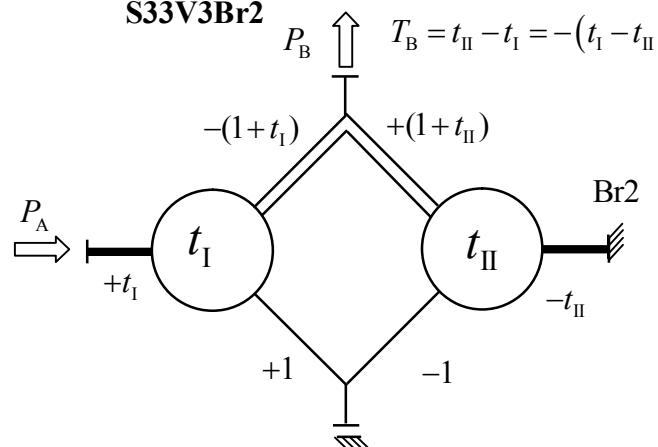
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A \frac{1+t_{II}}{t_I-t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_I-t_{II}}$$

**S33V3****S33V3Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + \frac{1}{t_I}$$

**S33V3Br2**

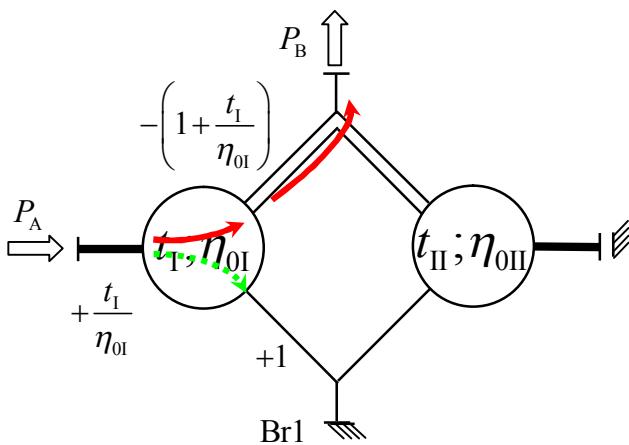
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{t_I - t_{II}}{t_I}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

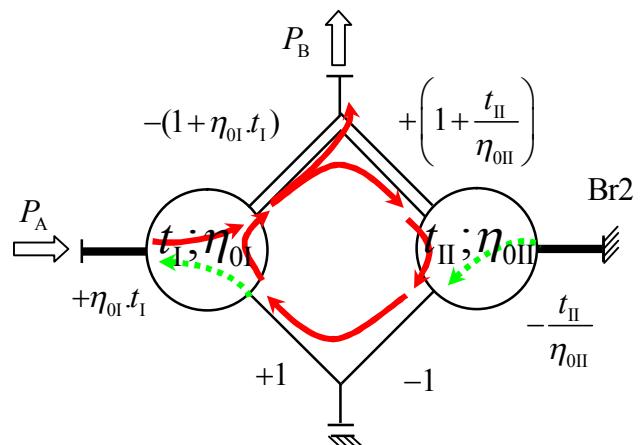
kod  $t_I > t_{II}$ 

$$T_B = -(t_I - t_{II}) < 0 \quad i_{Br2} = \frac{t_I - t_{II}}{t_I} > 0$$

Multiplikator



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{1 + \eta_{0I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$



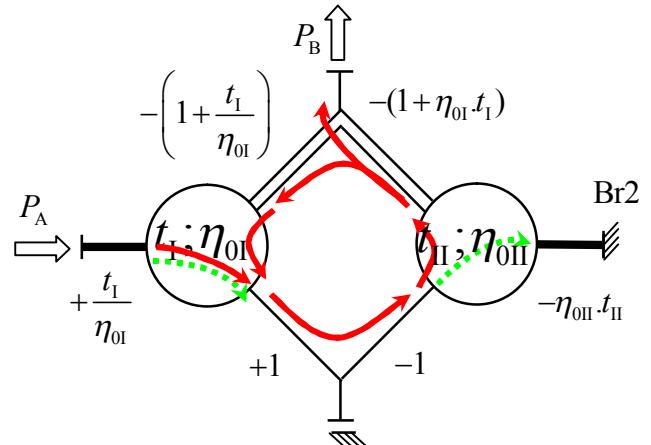
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{\frac{\eta_{0I}t_I - \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I}t_I}}{\frac{t_I - t_{II}}{t_I}}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica kod  $t_I < t_{II}$

$$T_B = -(t_I - t_{II}) > 0 \quad i_{Br2} = \frac{t_I - t_{II}}{t_I} < 0$$

pri  $t_{II} > 2t_I$  - Reduktor

pri  $t_{II} < 2t_I$  - Multiplikator

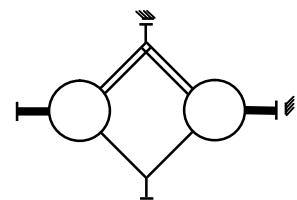
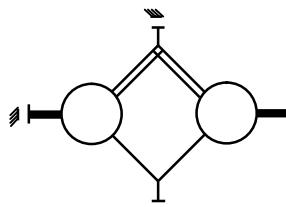
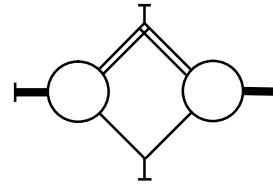
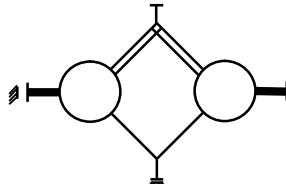
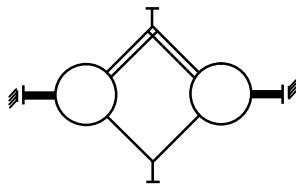
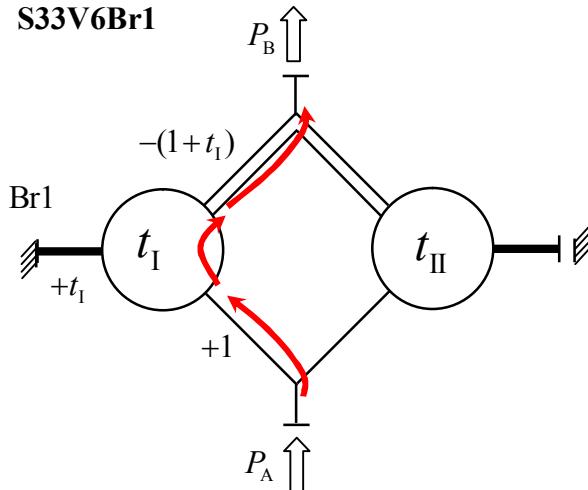


$$\eta_{Br2} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} - \eta_{0II} \cdot t_{II}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}}}{\frac{t_I - t_{II}}{t_I}} = \frac{\left(\frac{t_I}{\eta_{0I}} - \eta_{0II} \cdot t_{II}\right) \eta_{0I}}{t_I - t_{II}}$$

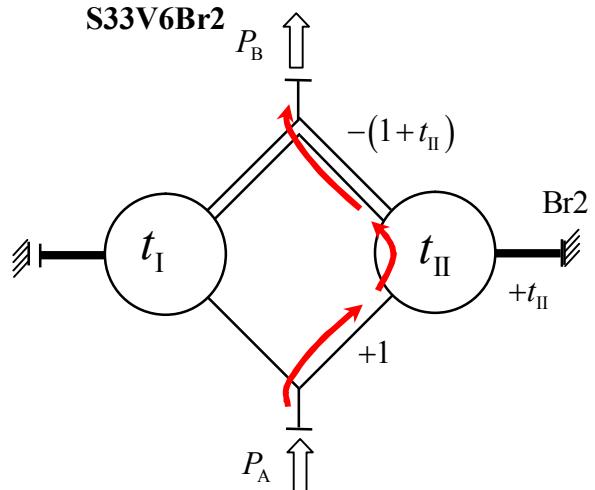
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_{III} = \frac{T_A}{t_I}$$

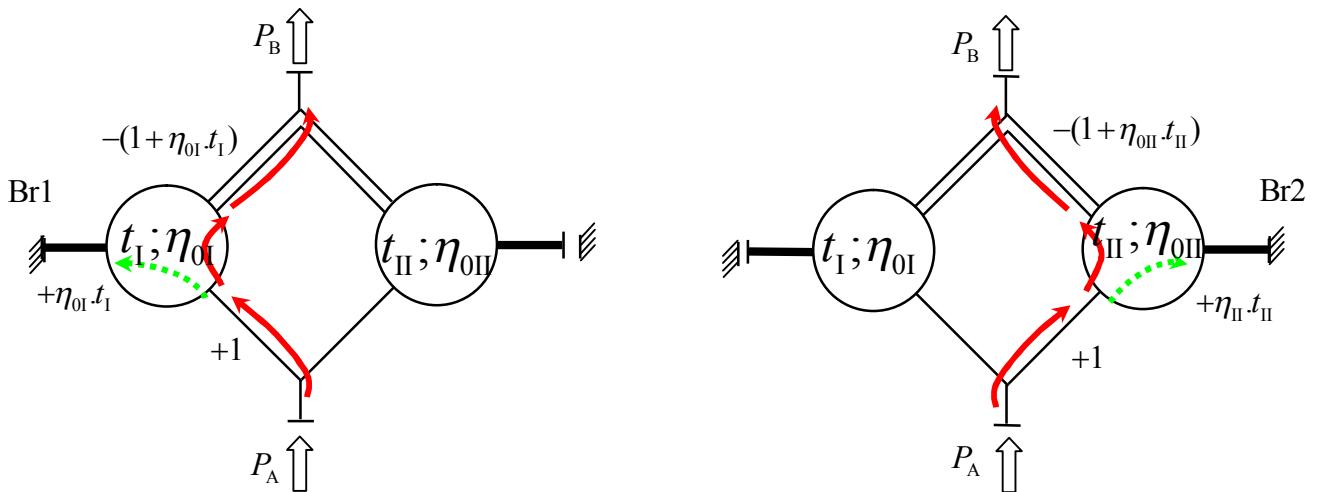
**S33V4(V10) ≡ S33V8(V2)**ako se zamjene  $t_I$  i  $t_{II}$ **S33V5(V11) ≡ S33V9(V3)**ako se zamjene  $t_I$  i  $t_{II}$ **S33V6****S33V6Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_I$$

**S33V6Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_{II}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$

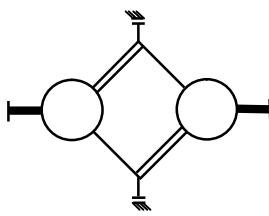
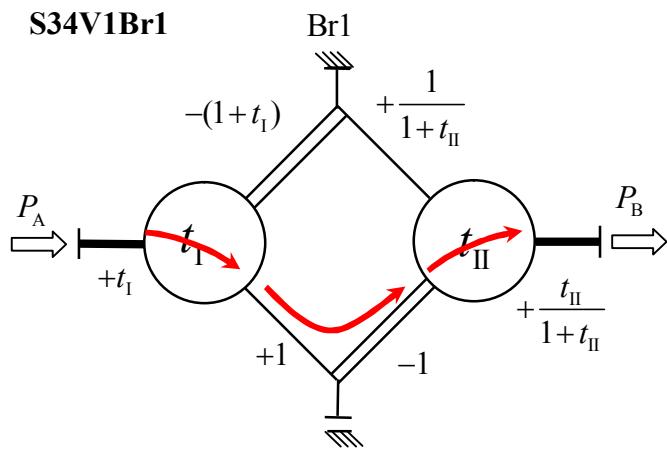
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

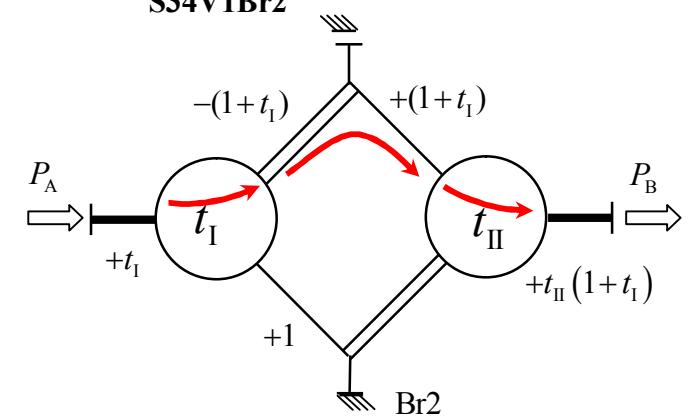
$$T_{1II} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{1II} = T_A$$

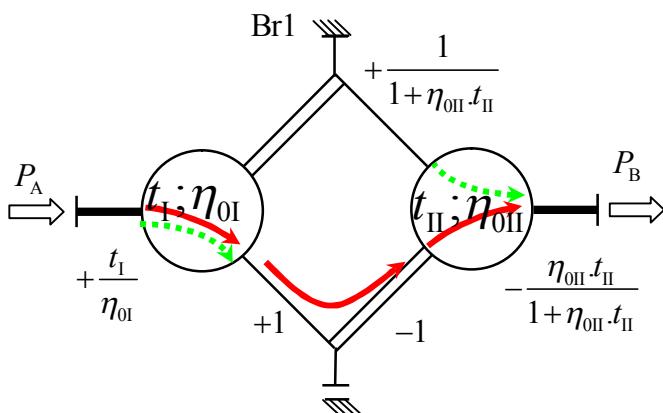
**S34V1****S34V1Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_{II}}{t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

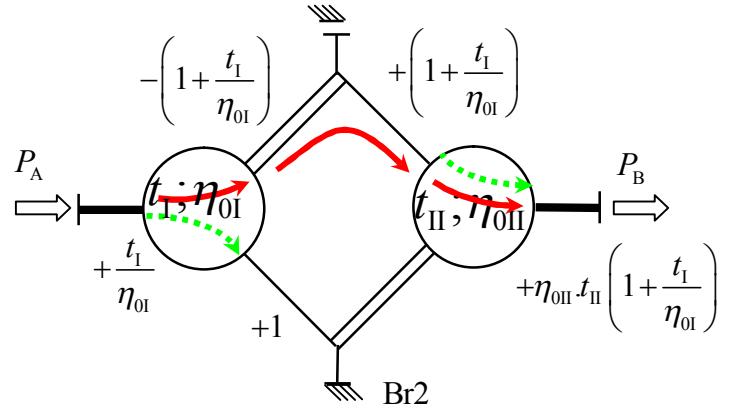
**S34V1Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0II} \cdot t_{II}}{t_I + \eta_{0II} t_I t_{II}}}{\frac{t_{II}}{t_I + t_I t_{II}}}$$



$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0II} \cdot t_{II} + \frac{\eta_{0II}}{\eta_{0I}} t_I \cdot t_{II}}{t_I}}{\frac{t_I}{\eta_{0I}}}$$

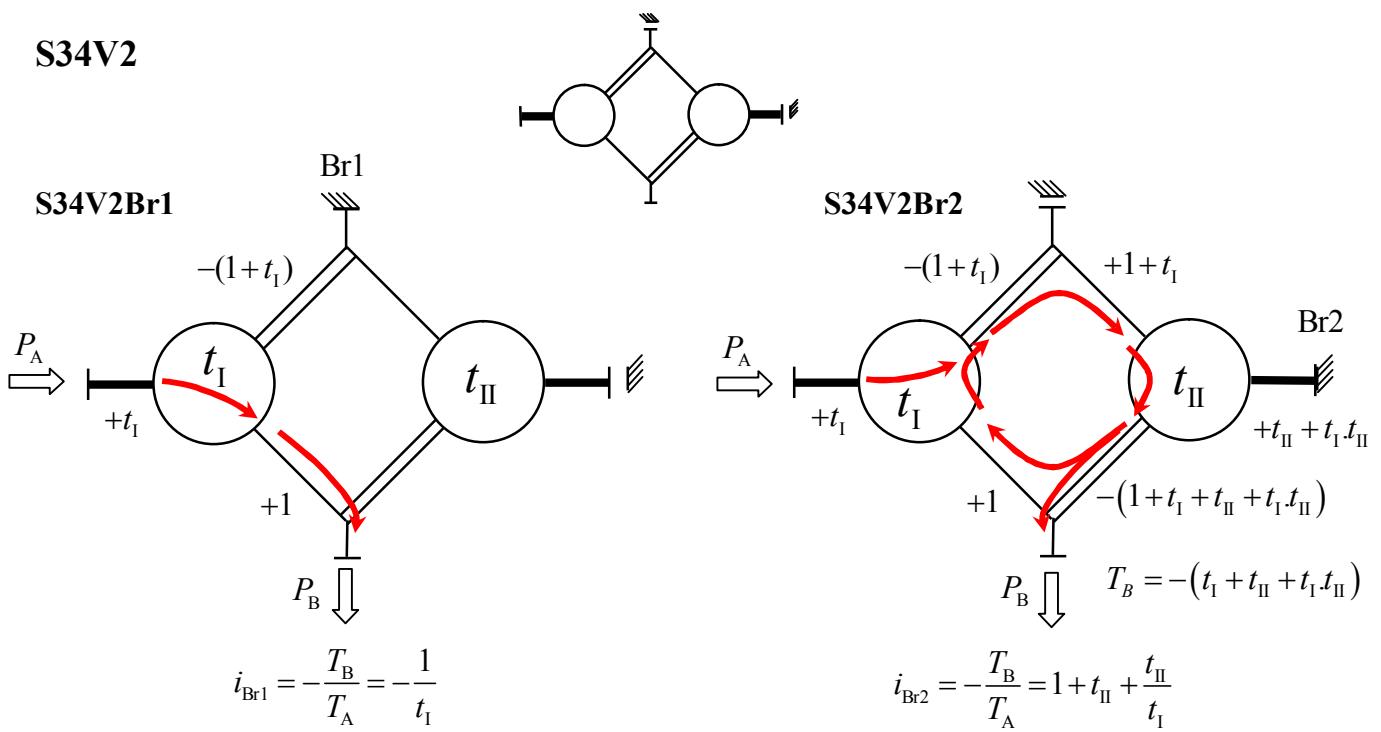
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I + t_I t_{II}}$$

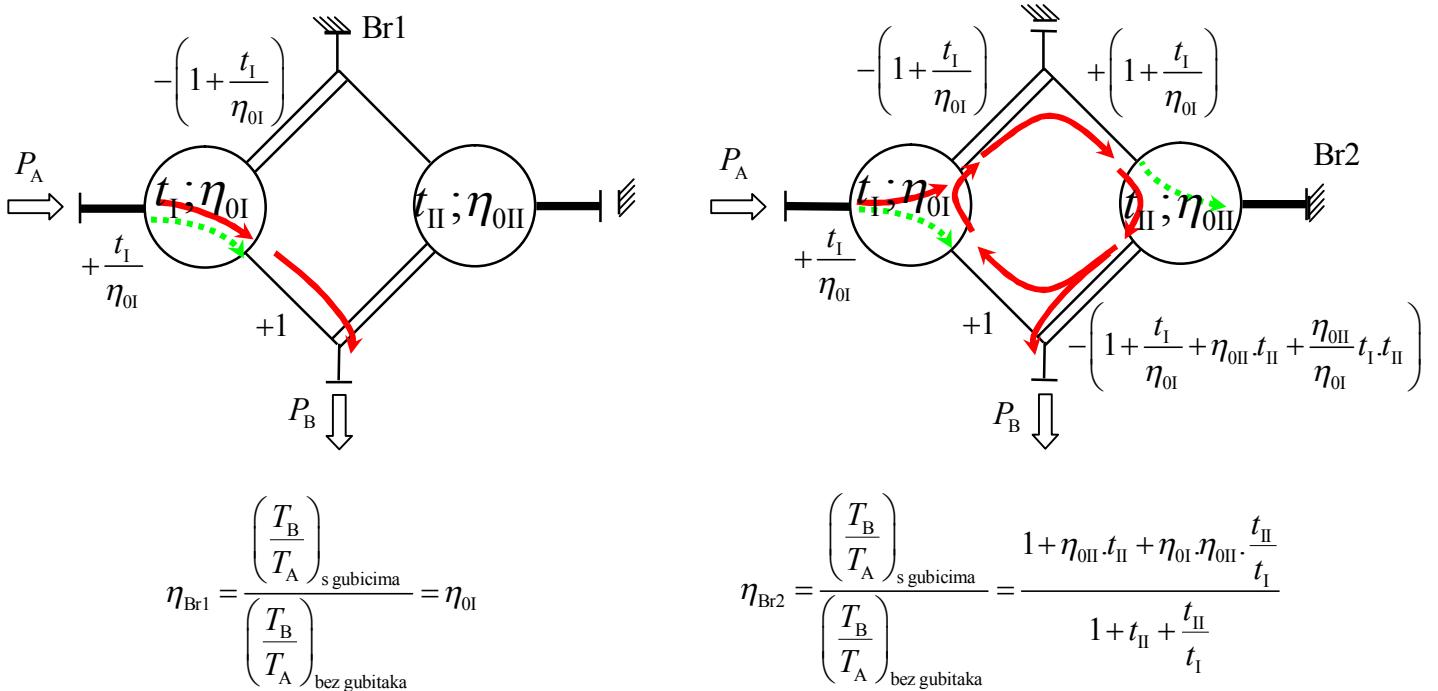
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_I}$$

S34V2

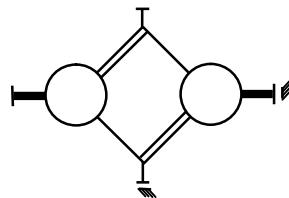
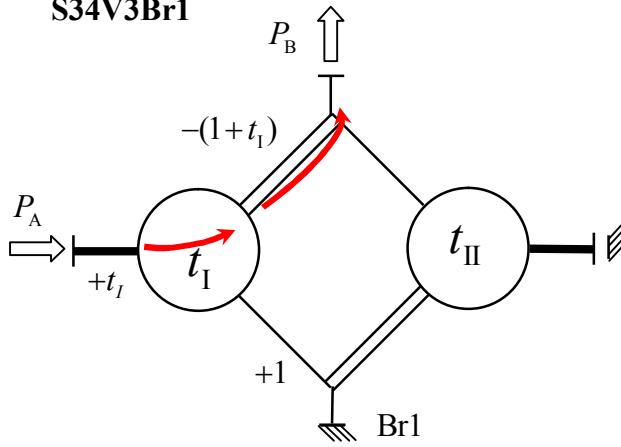


Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



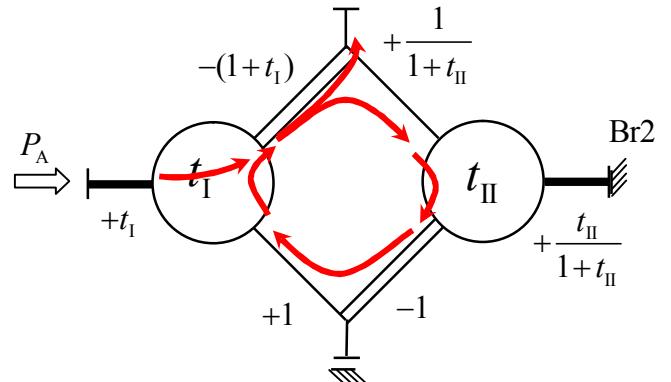
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I} \quad T_{III} = 0$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I} \quad T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_I}$$

**S34V3****S34V3Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + \frac{1}{t_I}$$

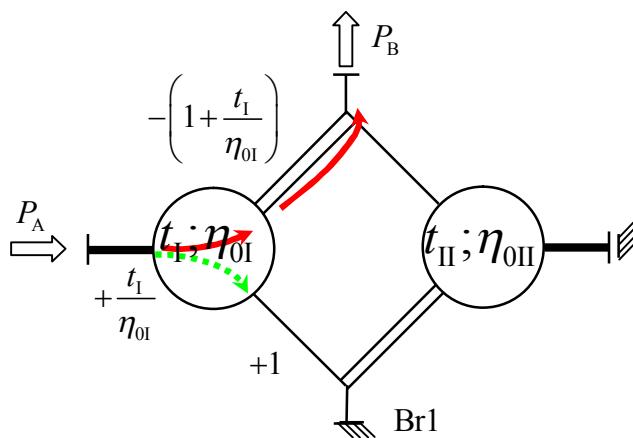
$$\text{S34V3Br2 } T_B = -\frac{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_{II}} < 0$$



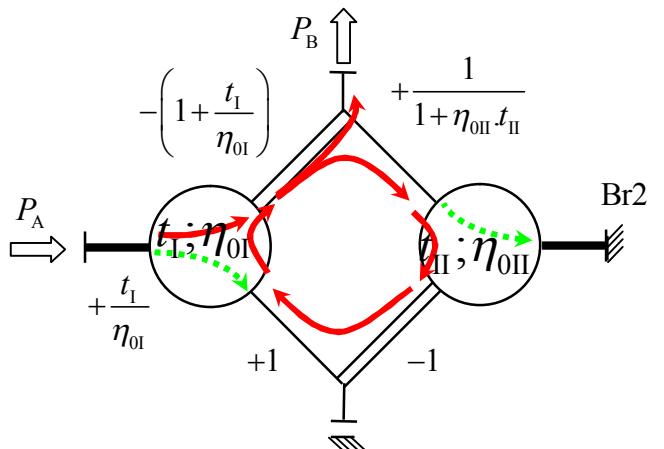
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I + t_I \cdot t_{II}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$



$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \frac{\eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}{\frac{t_I}{\eta_{0I}} + \frac{\eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} + \frac{\eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}{\frac{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I + t_I \cdot t_{II}}}$$

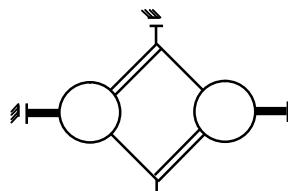
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = 0$$

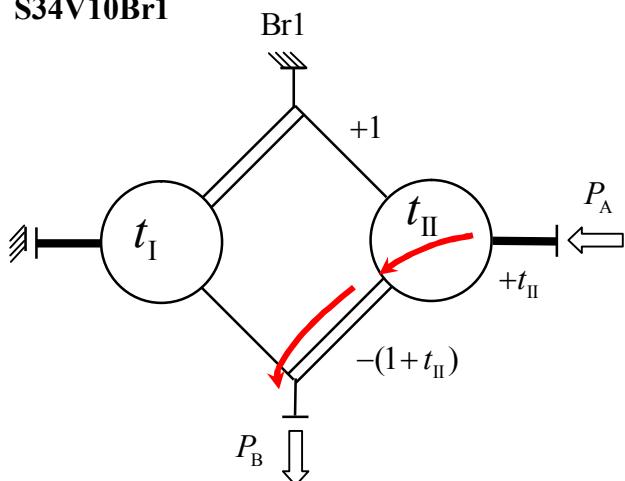
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1}{t_I (1 + t_{II})}$$

S34V10

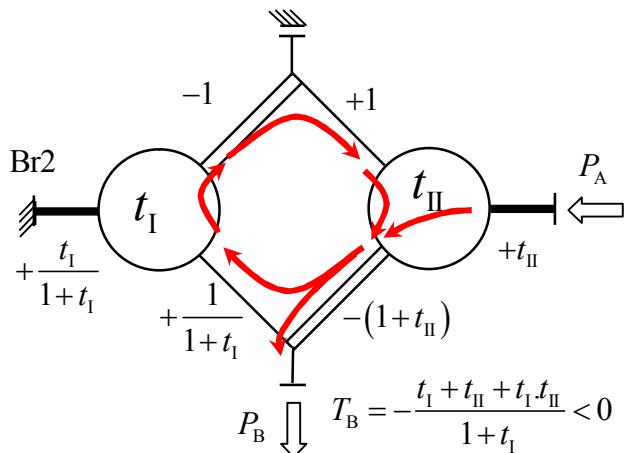


S34V10Br1



$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}}$$

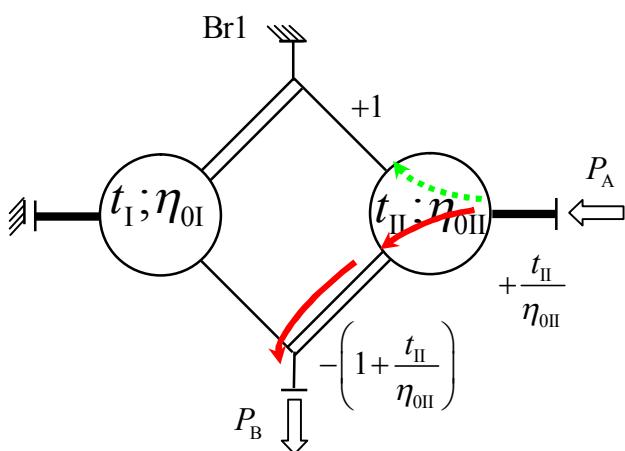
S34V10Br2



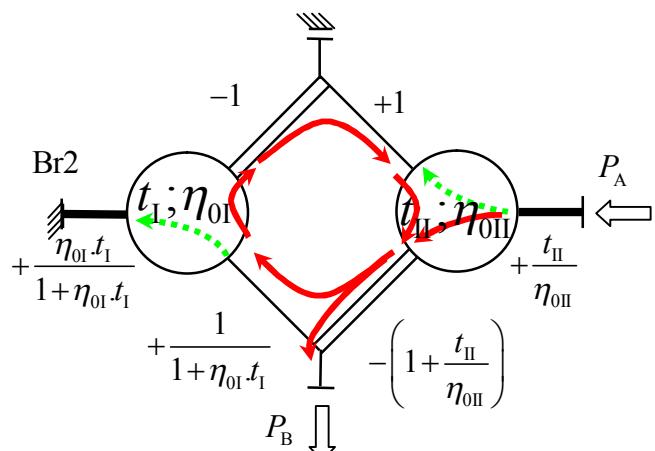
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

Stalni smjer cirkulacije snage

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0II}}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$



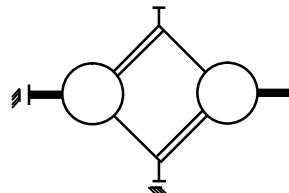
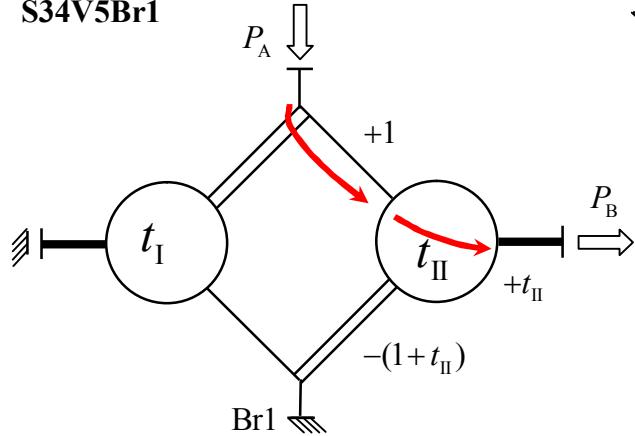
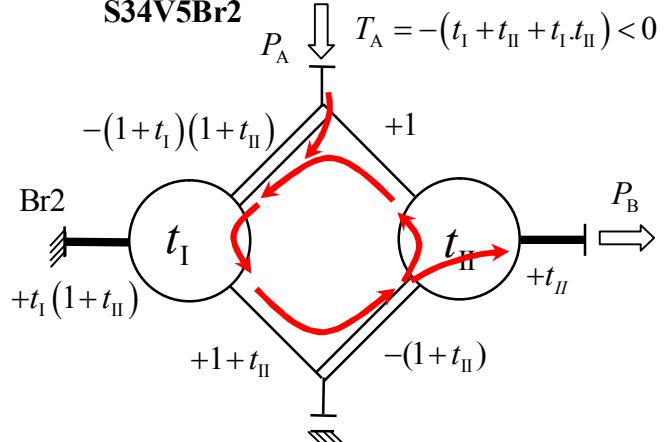
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{\eta_{0I} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_{II} + \frac{\eta_{0I} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

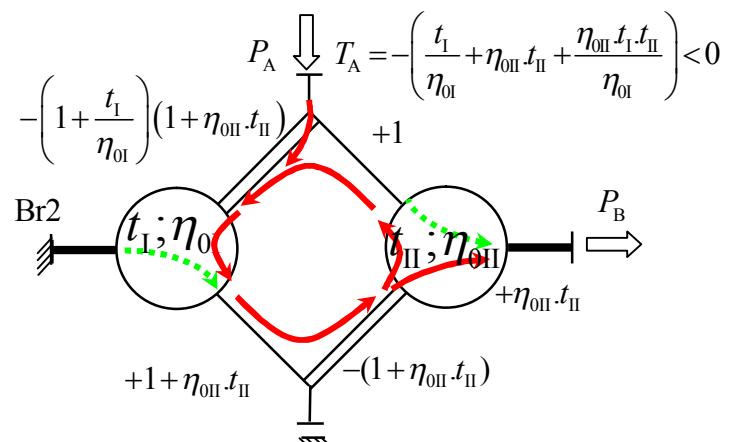
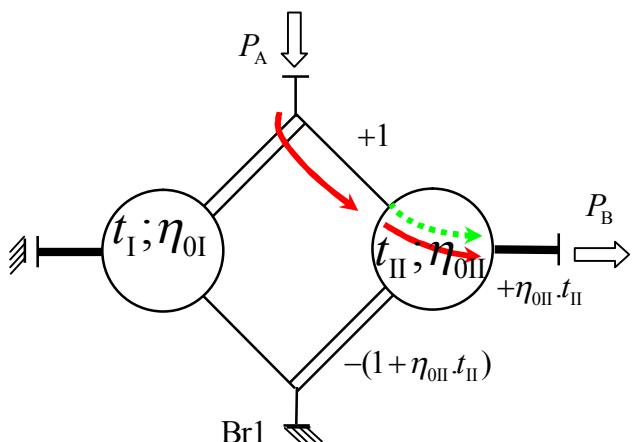
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

**S34V5****S34V5Br1****S34V5Br2**

Stalni smjer cirkulacije snage

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \eta_{0II}$$

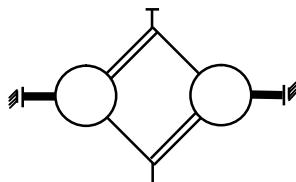
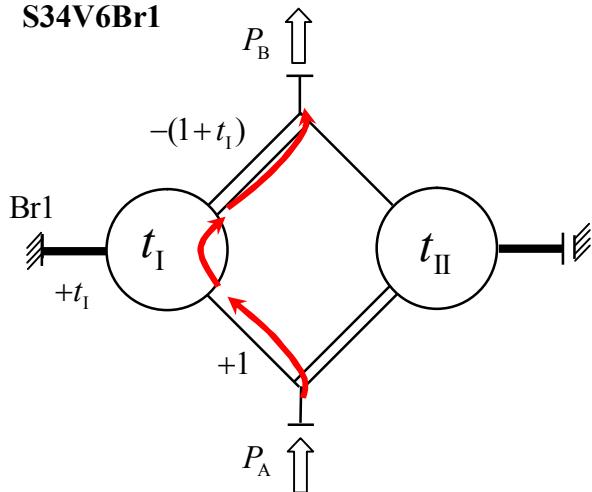
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{sgubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{bez gubitaka}} = \frac{\frac{\eta_{0II} \cdot t_{II}}{t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}}{\frac{t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

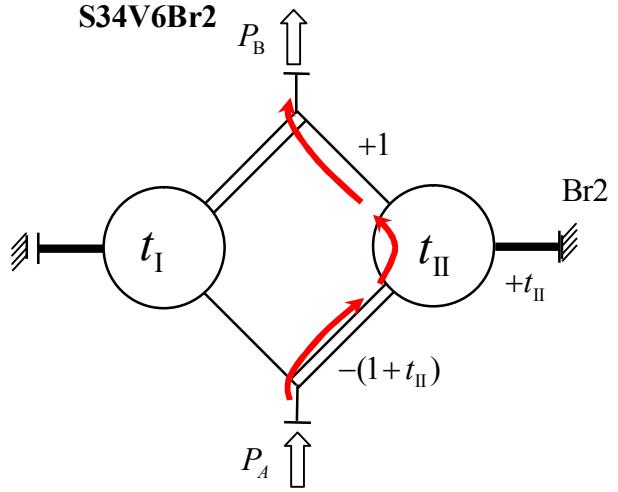
$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{1 + t_{II}}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1}{t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

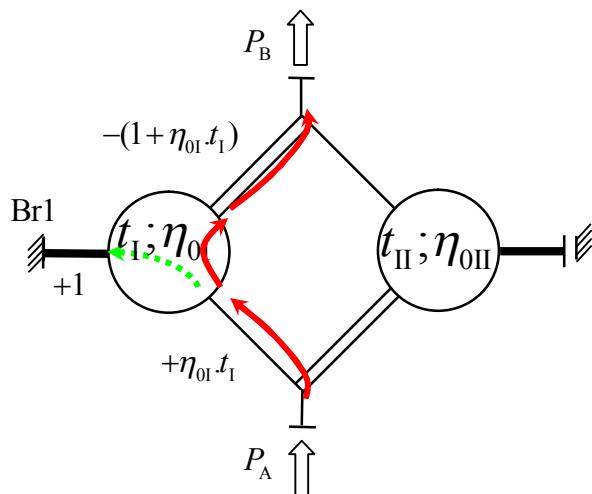
**S34V6****S34V6Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_I$$

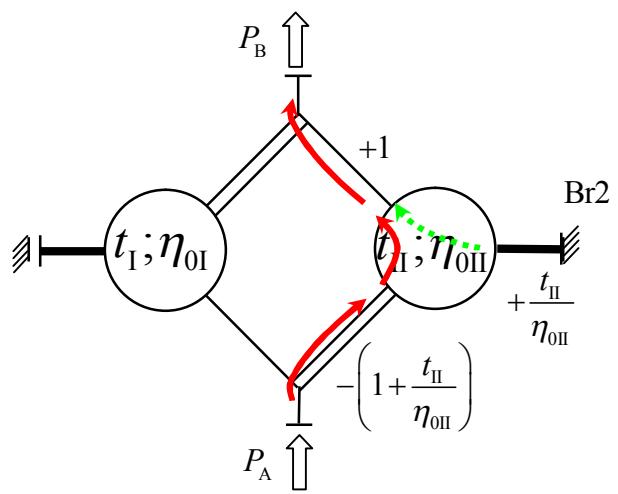
**S34V6Br2**

$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1}{1 + t_{II}} < 1$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$



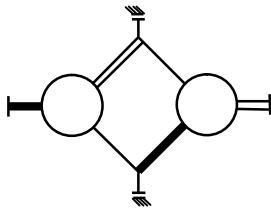
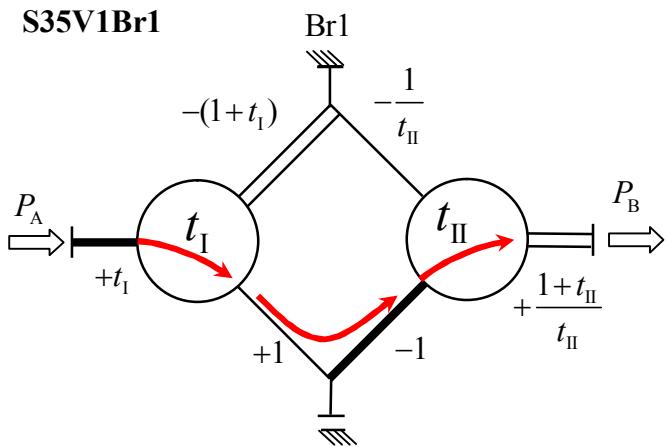
$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + t_{II}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}$$

$$T_{II} = T_A$$

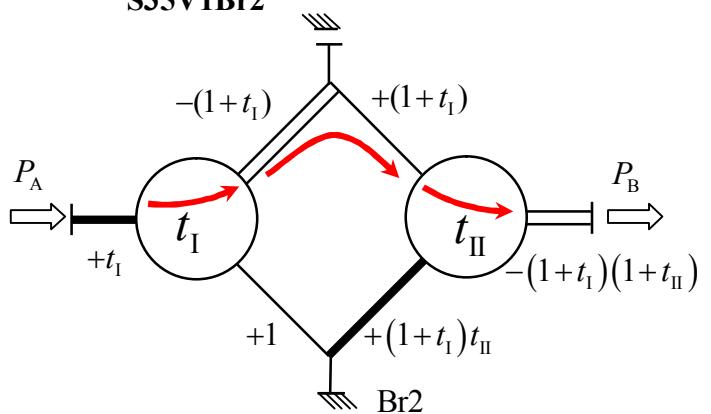
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{1 + t_{II}}$$

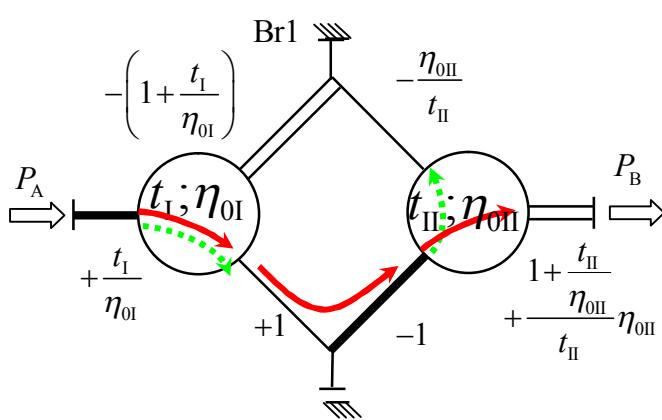
**S35V1****S35V1Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1+t_{II}}{t_I \cdot t_{II}} < 0$$

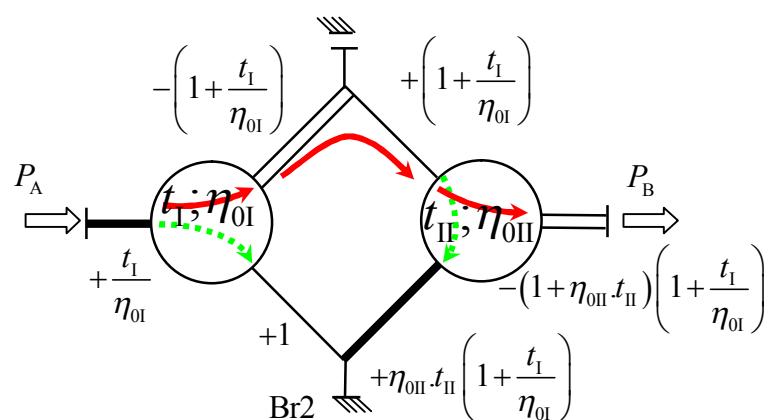
**S35V1Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{(1+t_I)(1+t_{II})}{t_I}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I}\eta_{0II}}}{\frac{1+t_{II}}{t_I t_{II}}}$$



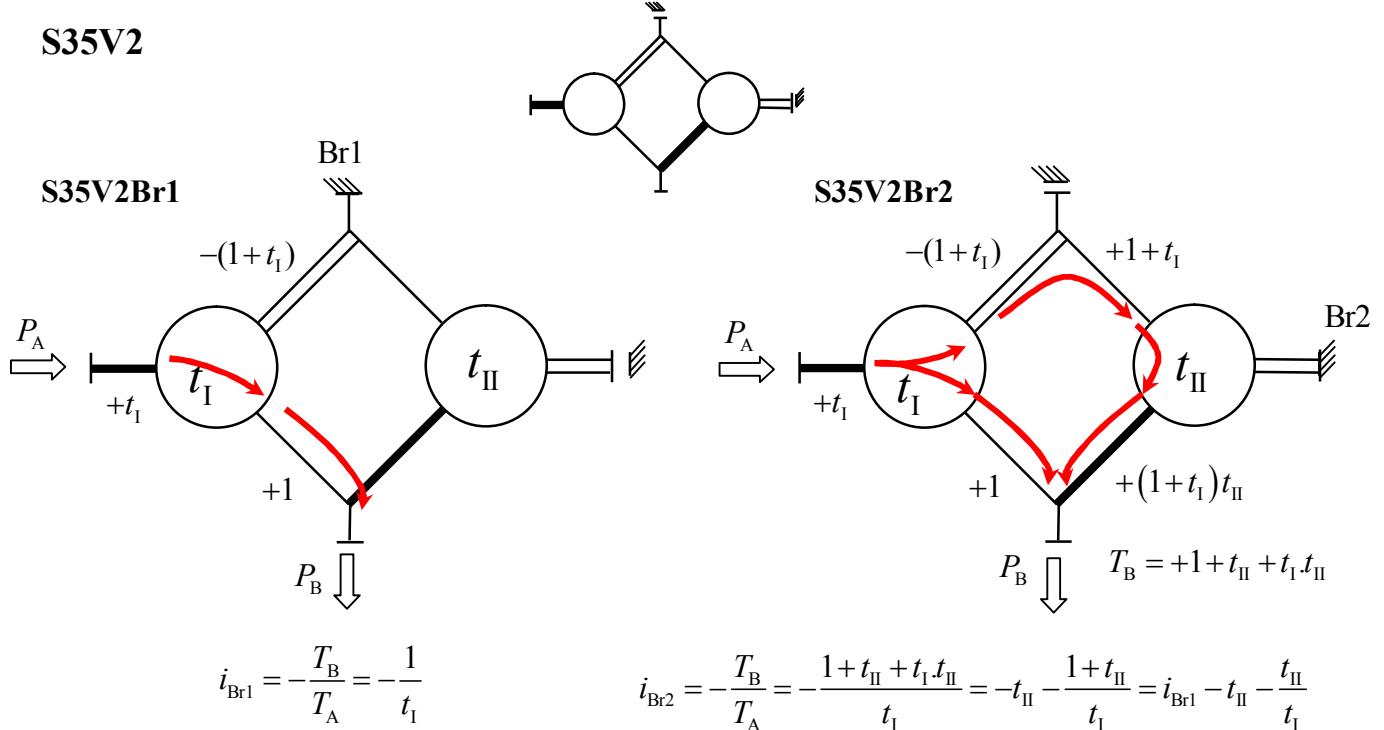
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\left(1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}\right)(1+\eta_{0II} \cdot t_{II})}{t_I}}{\frac{\left(1+t_I\right)\left(1+t_{II}\right)}{t_I}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I \cdot t_{II}}$$

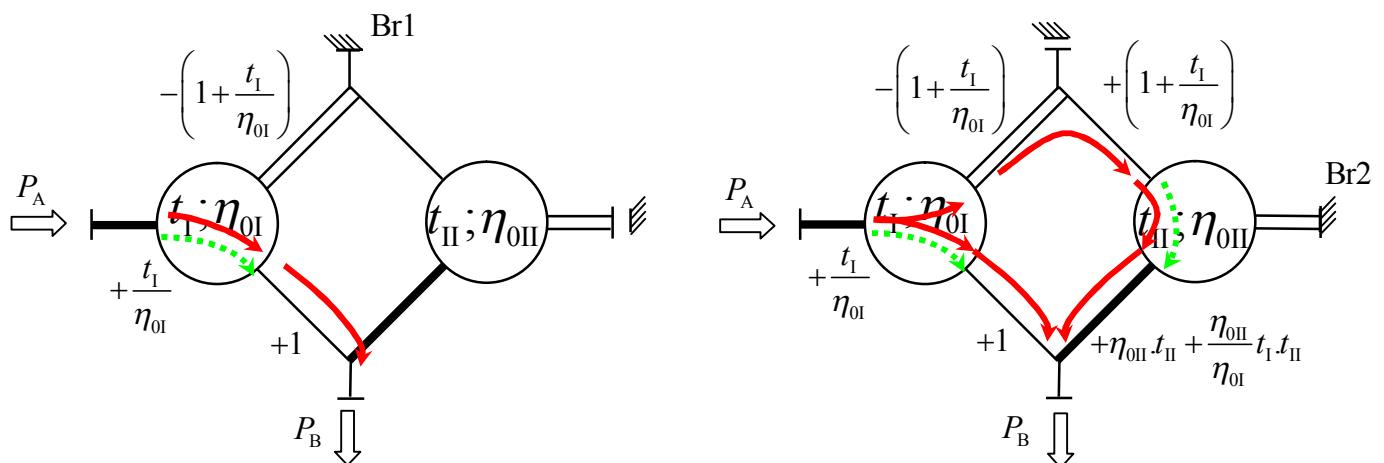
$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I} (1+t_I)$$

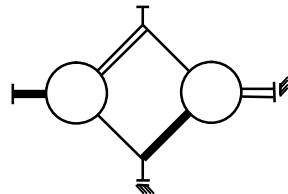
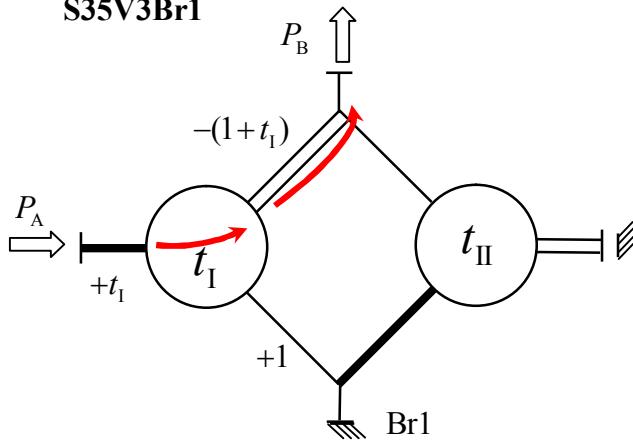
**S35V2**

Multiplikator

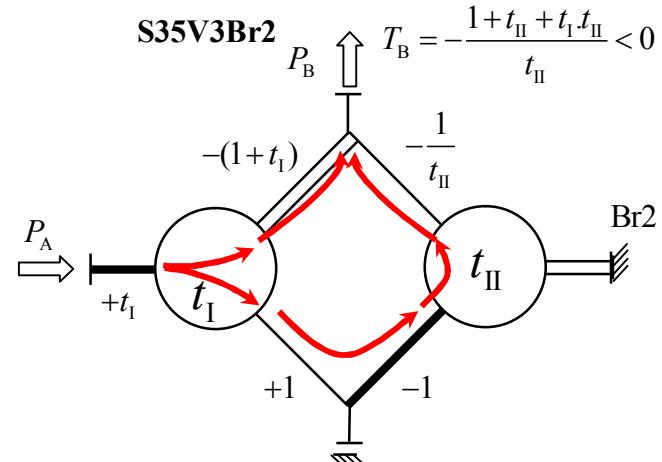
Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I} \quad T_{III} = 0 \quad T_{II} = \frac{T_A}{t_I} \quad T_{III} = T_A \frac{1+t_I}{t_I}$$

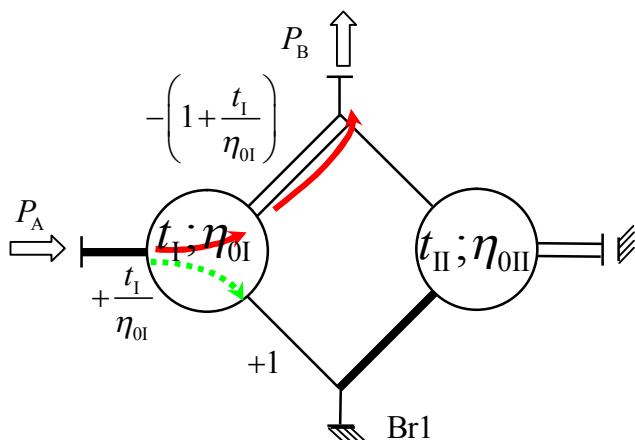
**S35V3****S35V3Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + \frac{1}{t_I}$$

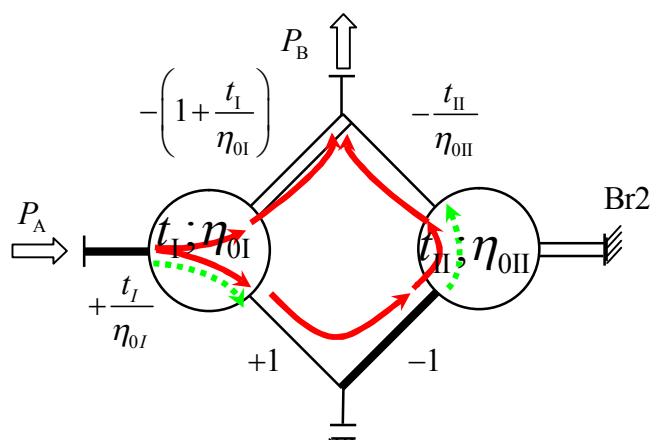


$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II}} = +1 + \frac{1+t_{II}}{t_I \cdot t_{II}} = i_{Br1} + \frac{1}{t_I \cdot t_{II}}$$

Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$



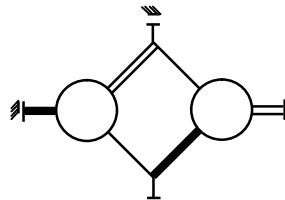
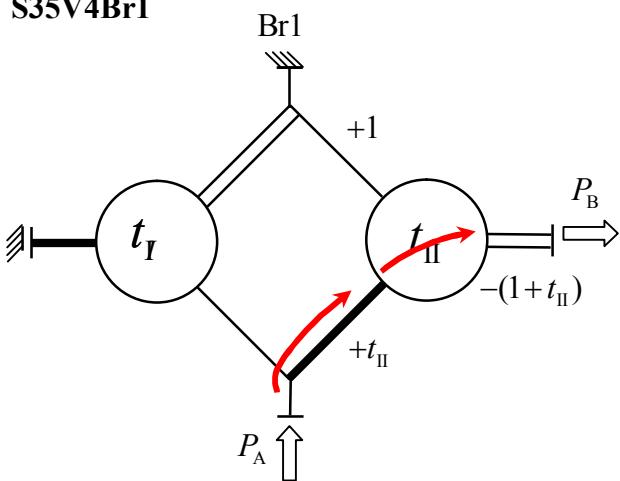
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}{\frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}}{\frac{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

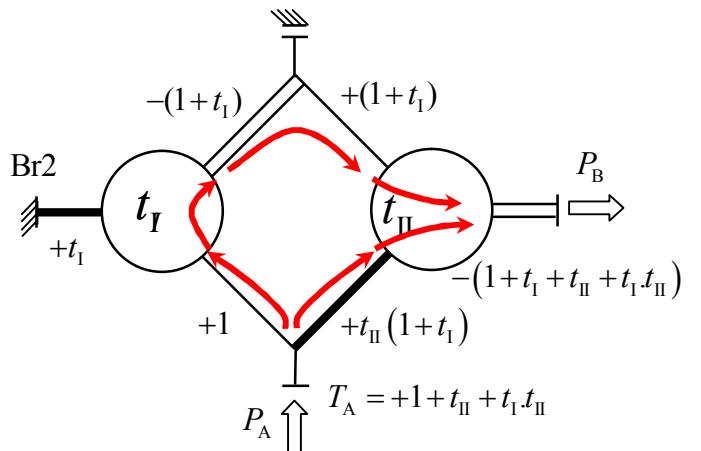
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1}{t_I \cdot t_{II}}$$

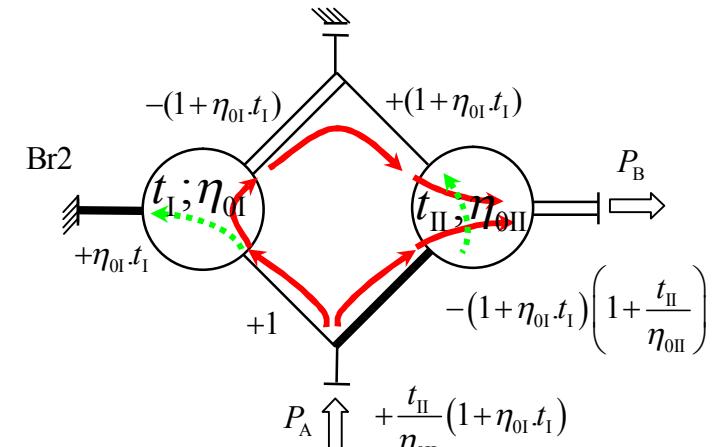
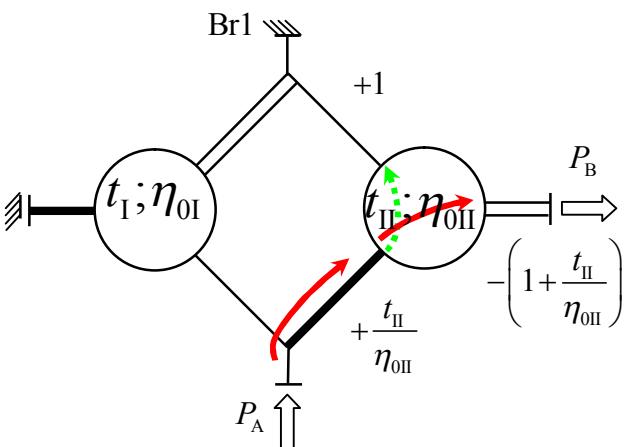
**S35V4****S35V4Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}}$$

**S35V4Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_I+t_{II}+t_I*t_{II}}{1+t_{II}+t_I*t_{II}} = 1 + \frac{t_I}{1+t_{II}+t_I*t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0II}}{t_{II}}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$

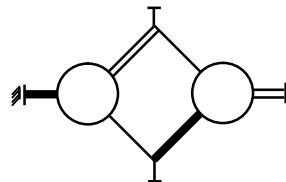
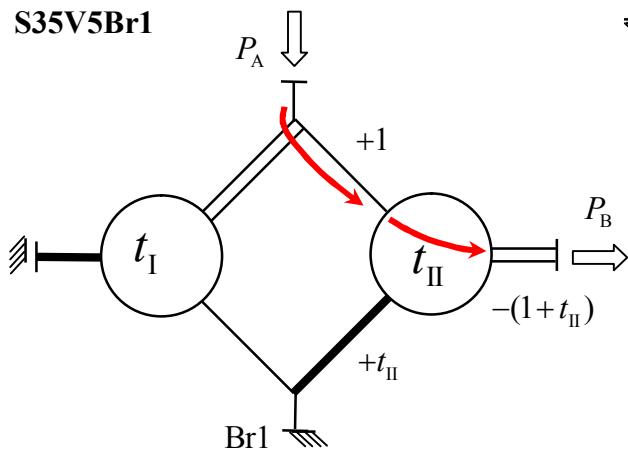
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{\eta_{0I}}{\eta_{0II}} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{\eta_{0I}}{\eta_{0II}} \cdot t_I \cdot t_{II}}}{\frac{1 + t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

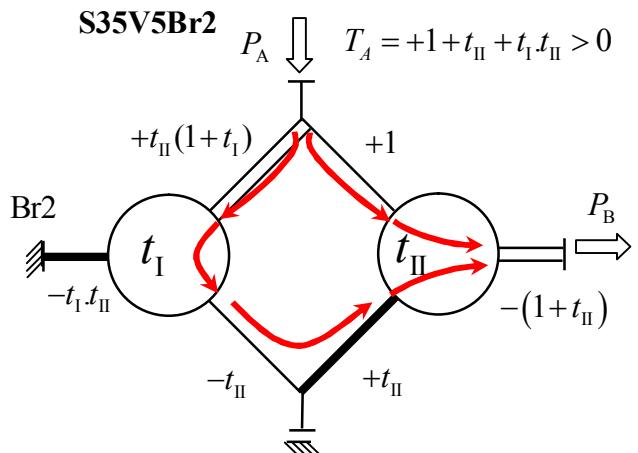
$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}} = T_{II} (1 + t_I)$$

**S35V5****S35V5Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_{II}$$

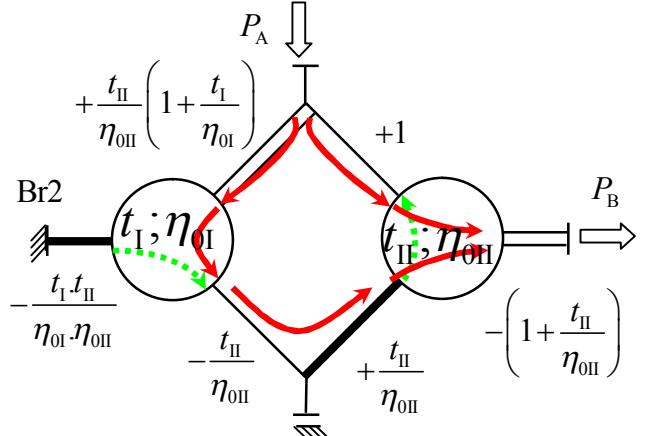
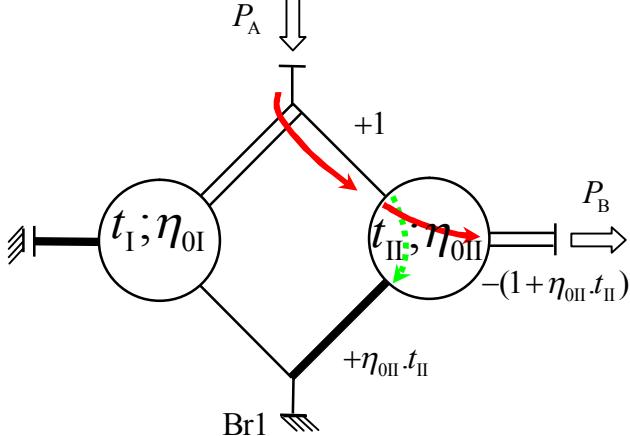
Reduktor

Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

**S35V5Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_{II}}{1+t_{II}+t_I \cdot t_{II}} < 1$$

Multiplikator



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

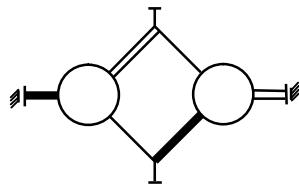
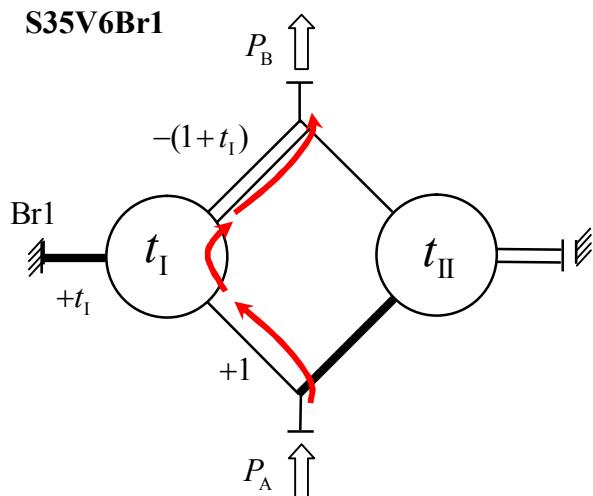
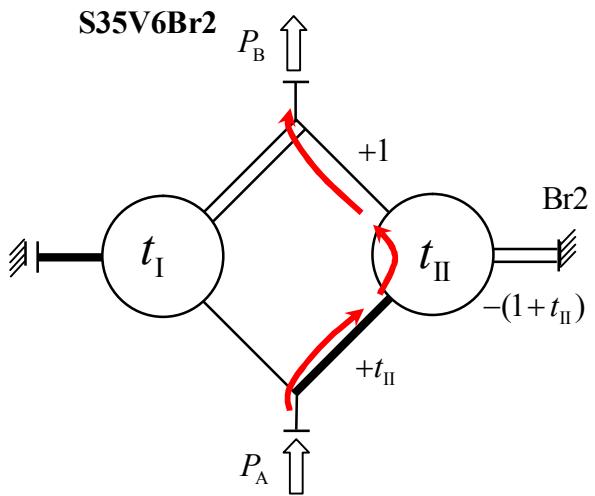
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}}{\frac{1 + t_{II}}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1}{1 + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

**S35V6****S35V6Br1****S35V6Br2**

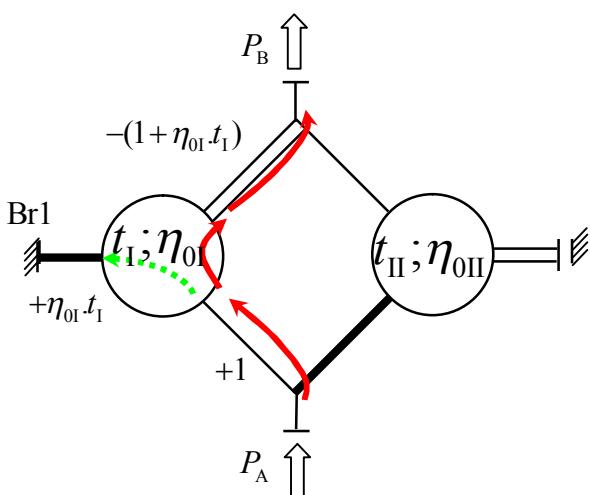
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_I$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1}{t_{II}}$$

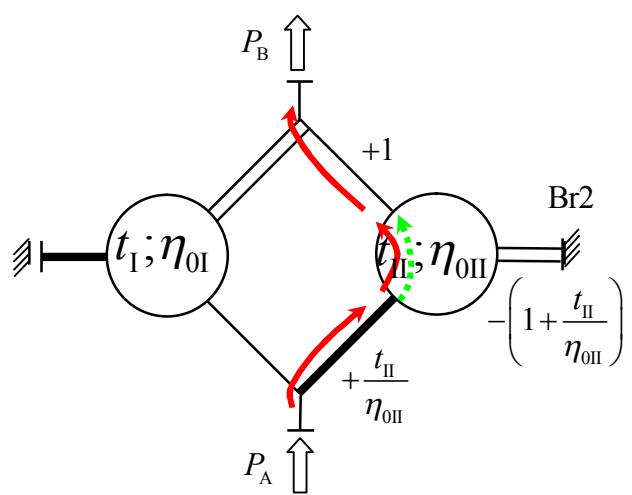
Reduktor

Multiplikator

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_0I \cdot t_I}{1 + t_I}$$



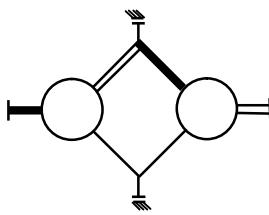
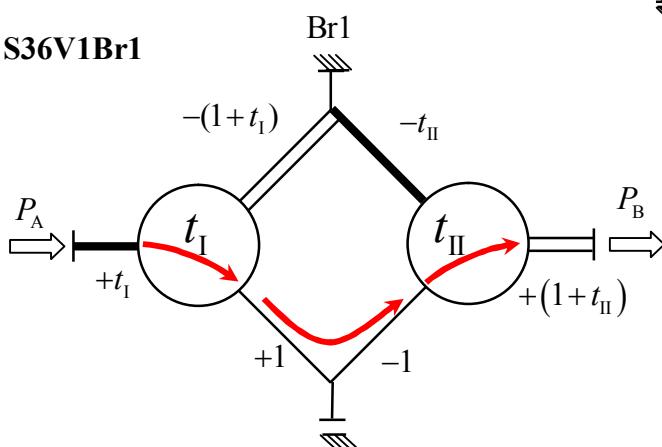
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0II}$$

$$T_{II} = T_A$$

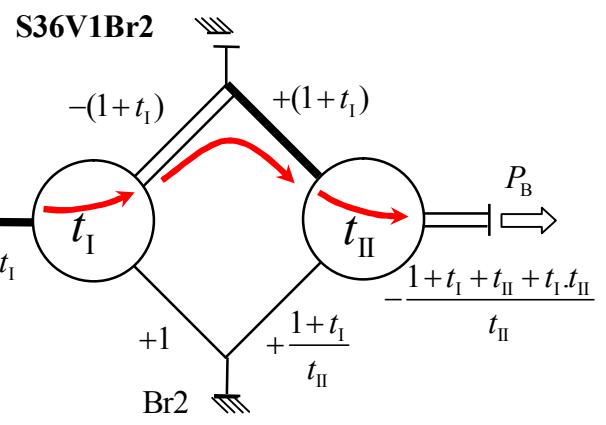
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

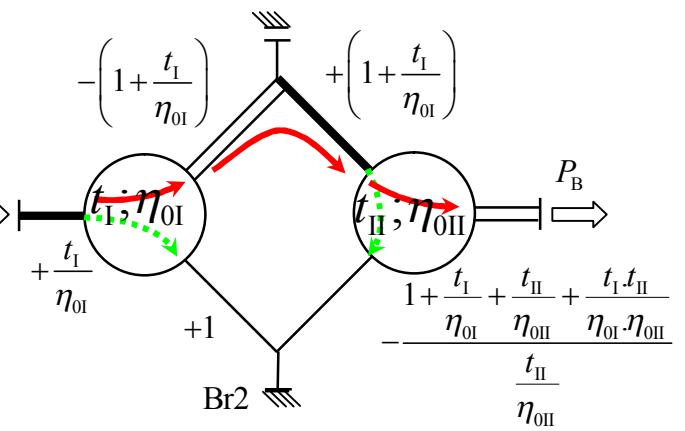
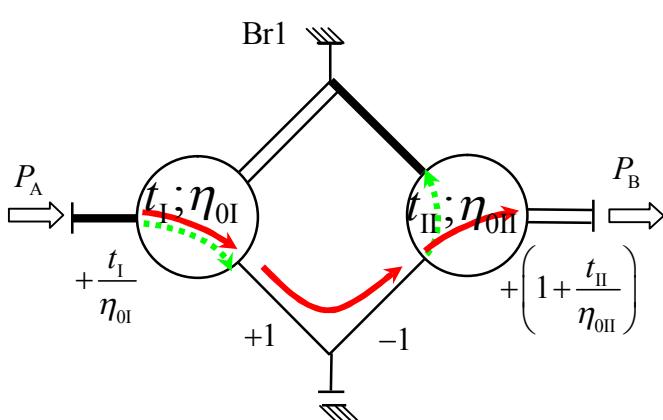
**S36V1****S36V1Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1+t_{II}}{t_I} < 0$$

**S36V1Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{(1+t_I)(1+t_{II})}{t_I t_{II}} > 0$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



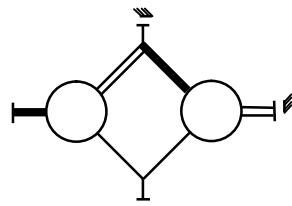
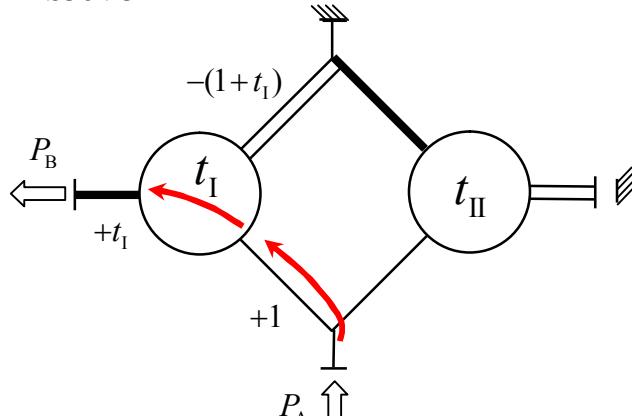
$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0II}t_{II}}{t_I}}{\frac{1+t_{II}}{t_I}} = \frac{(1+\eta_{0II}t_{II})\eta_{0I}}{1+t_{II}}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}+\frac{t_I t_{II}}{\eta_{0I} \eta_{0II}}}{1+\frac{t_I}{\eta_{0I}}+\frac{t_{II}}{\eta_{0II}}+\frac{t_I t_{II}}{\eta_{0I} \eta_{0II}}}}{\frac{1+t_I}{t_I t_{II}}}$$

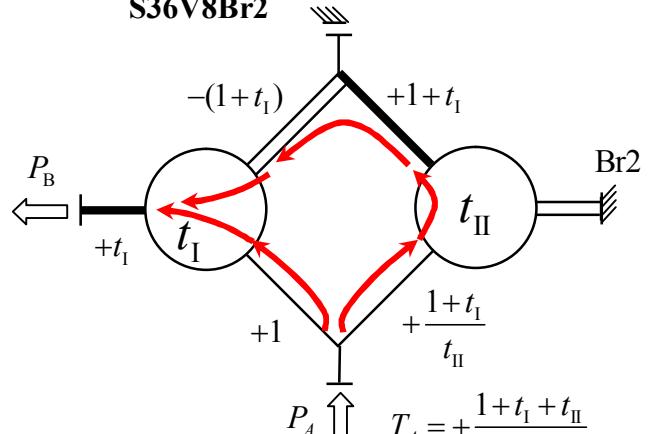
$$T_{II} = T_{III} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I t_{II}} (1+t_I)$$

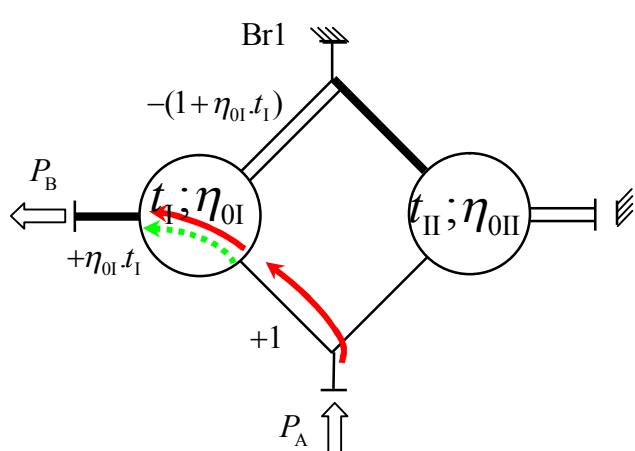
**S36V8****S36V8Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$

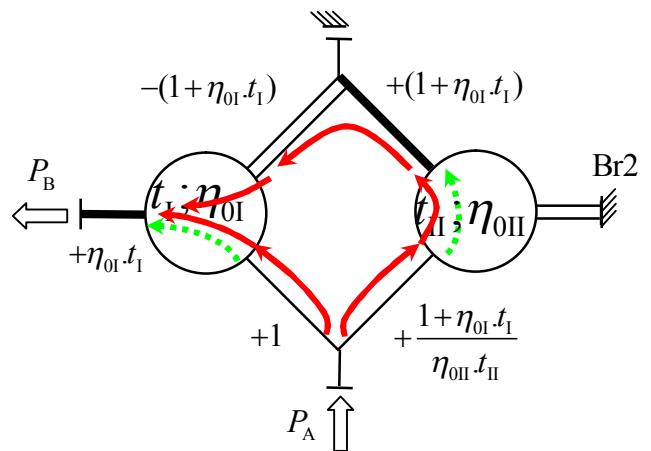
**S36V8Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$



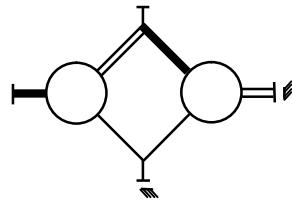
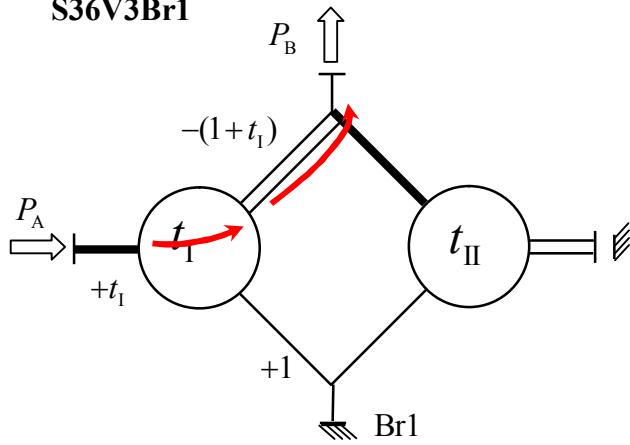
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II}} \cdot \frac{t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A$$

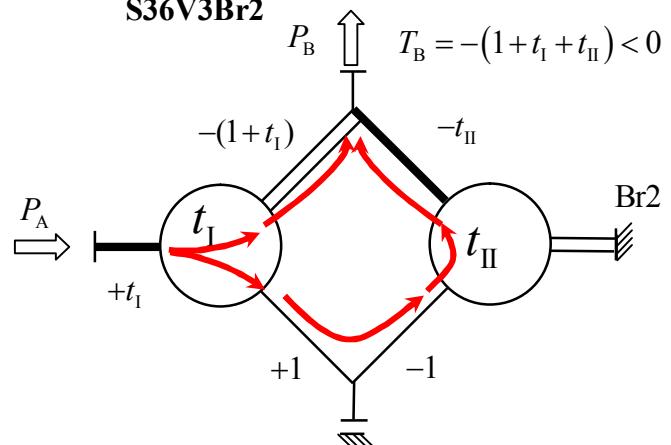
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}$$

$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}$$

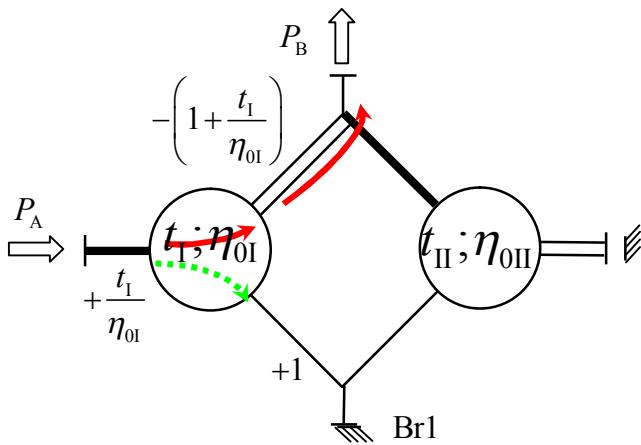
**S36V3****S36V3Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + \frac{1}{t_I}$$

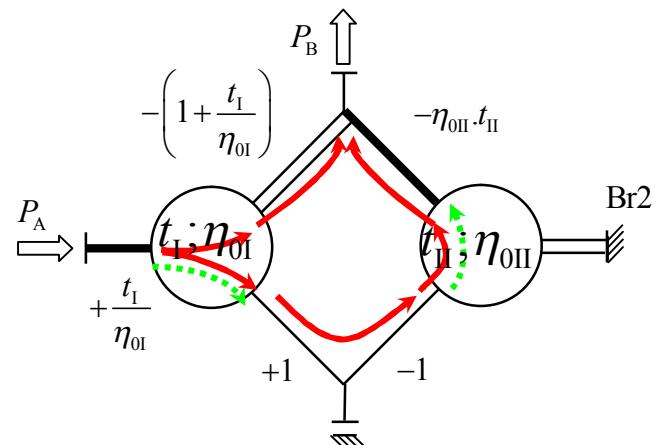
**S36V3Br2**

$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_I+t_{\text{II}}}{t_I} = +1 + \frac{1+t_{\text{II}}}{t_I} = i_{\text{Br}1} + \frac{t_{\text{II}}}{t_I}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

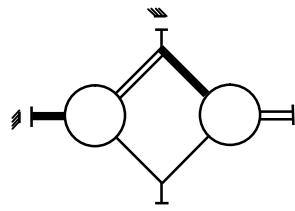
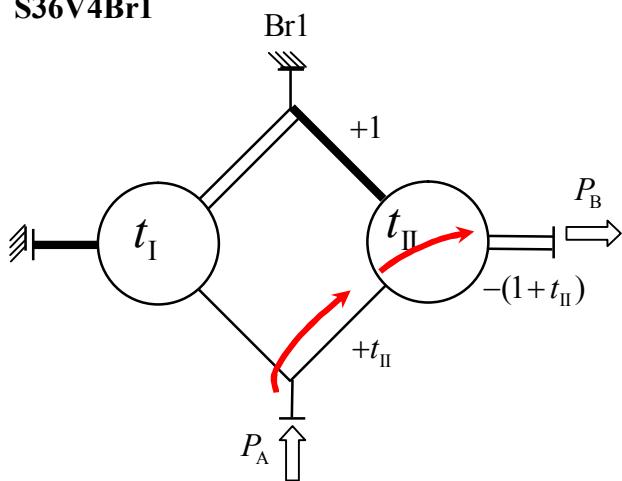


$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II} \cdot t_{\text{II}}}{\eta_{0I}}}{\frac{1 + t_I + t_{\text{II}}}{t_I}} = \frac{\left(1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II} \cdot t_{\text{II}}\right) \eta_{0I}}{1 + t_I + t_{\text{II}}}$$

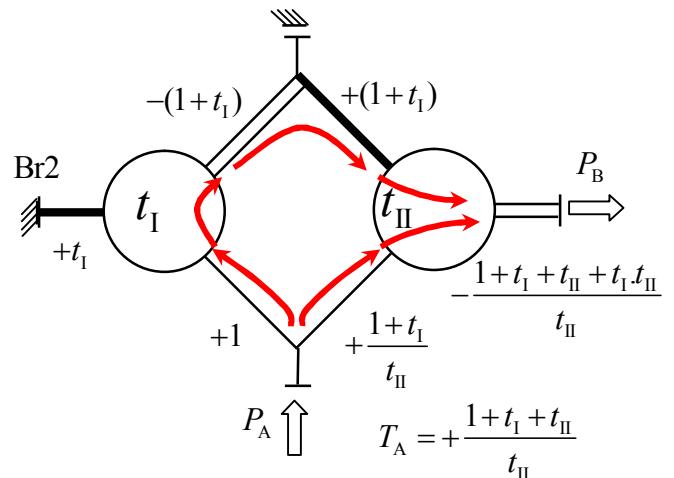
$$T_{\text{II}} = \frac{T_A}{t_I}$$

$$T_{\text{III}} = 0$$

$$T_{\text{II}} = T_{\text{III}} = \frac{T_A}{t_I}$$

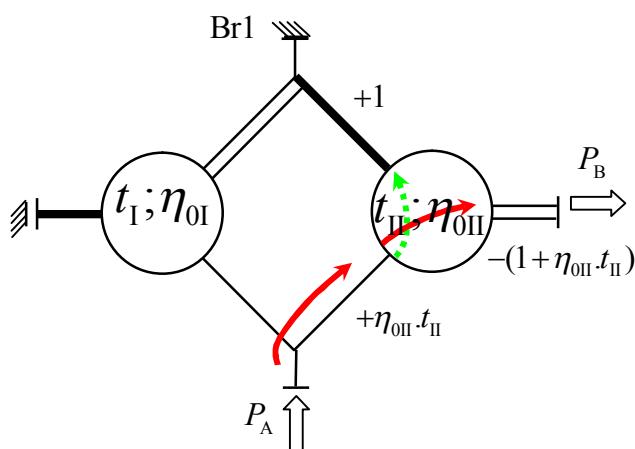
**S36V4****S36V4Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + t_{II}$$

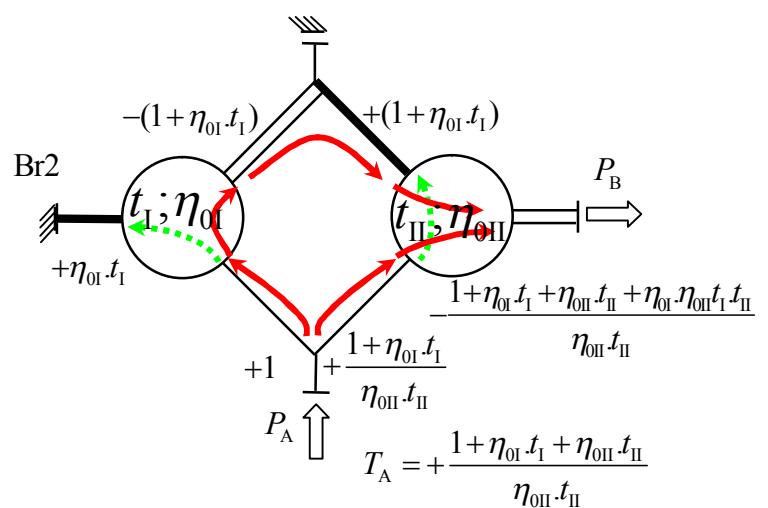
**S36V4Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_I+t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{1+t_I+t_{II}} = 1 + \frac{t_I \cdot t_{II}}{1+t_I+t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$



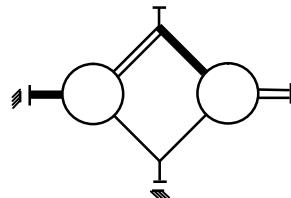
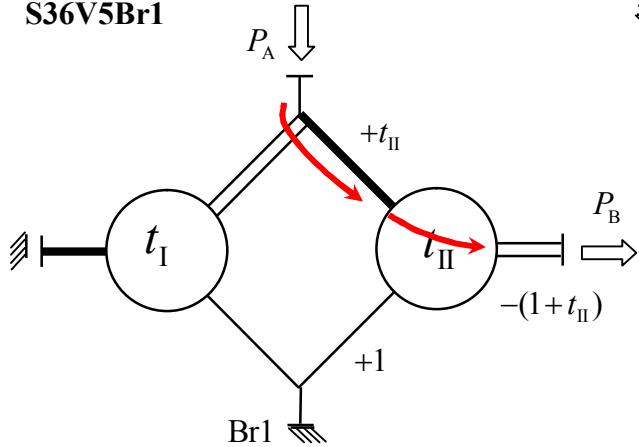
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II} + \eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0II} \cdot t_{II}}}{\frac{1 + t_I + t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}$$

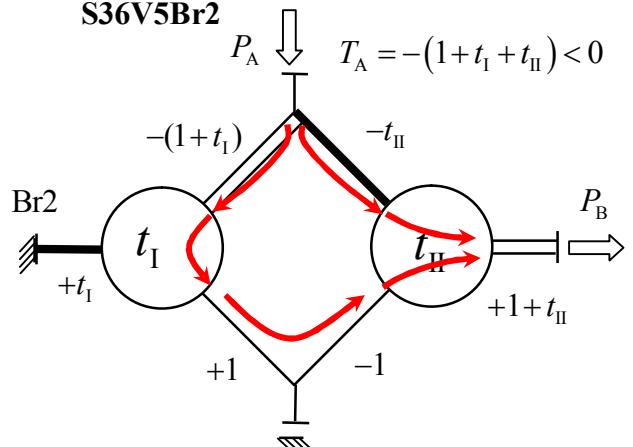
$$T_{III} = T_A \frac{1 + t_I}{1 + t_I + t_{II}} = T_{II} \frac{1 + t_I}{t_{II}}$$

**S36V5****S36V5Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_{II}} > 1$$

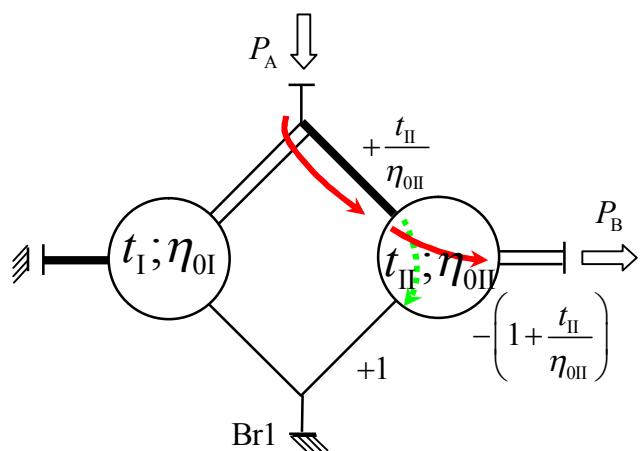
Reduktor

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

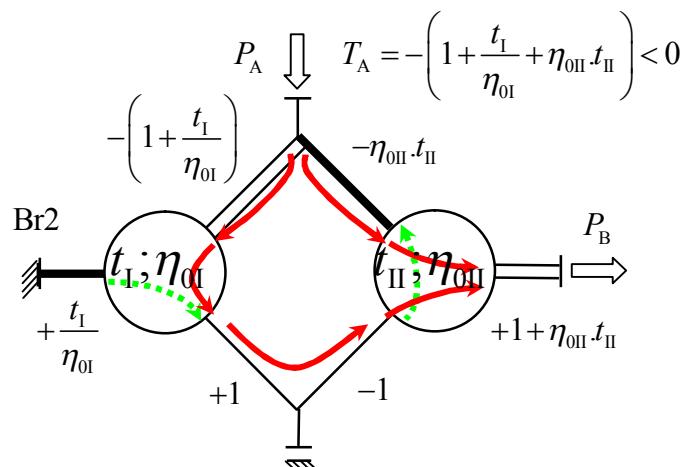
**S36V5Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1 + t_{II}}{1 + t_I + t_{II}} < 1$$

Multiplikator



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$

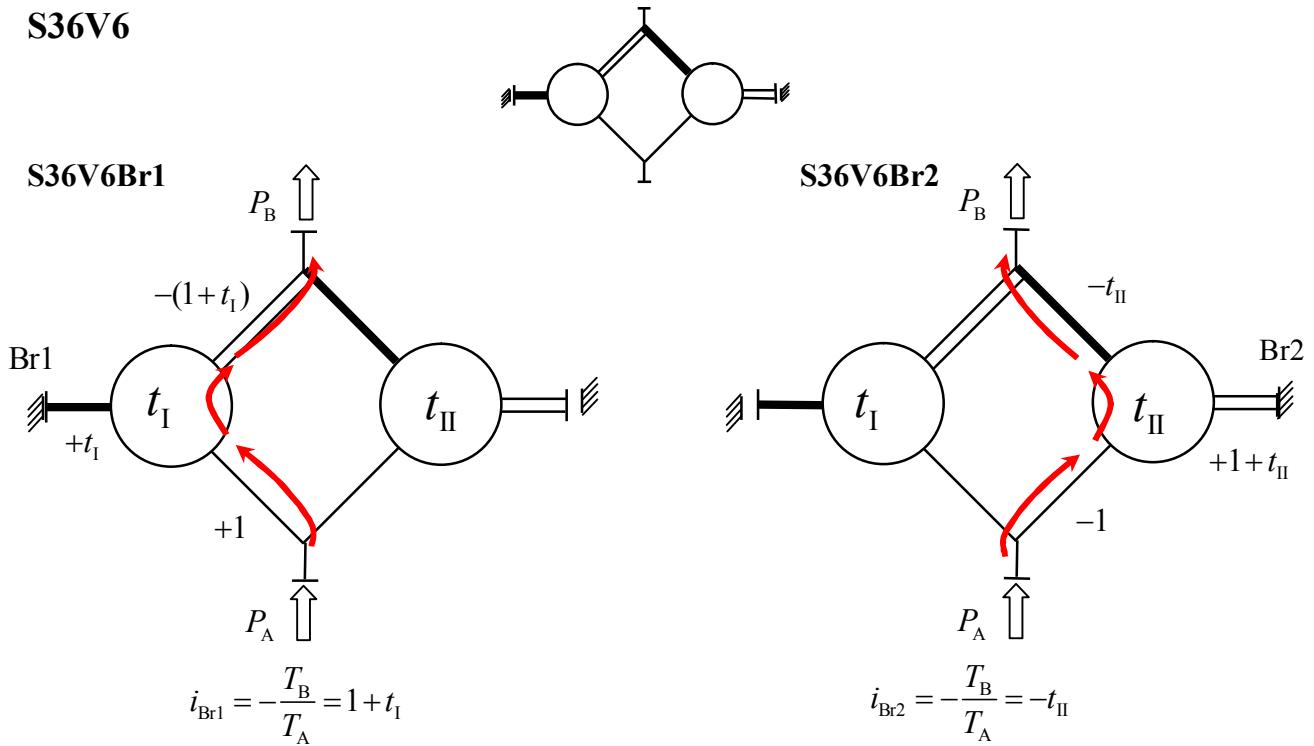


$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \eta_{0II}t_{II}}{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}} + \eta_{0II}t_{II}}}{\frac{1 + t_{II}}{1 + t_I + t_{II}}}$$

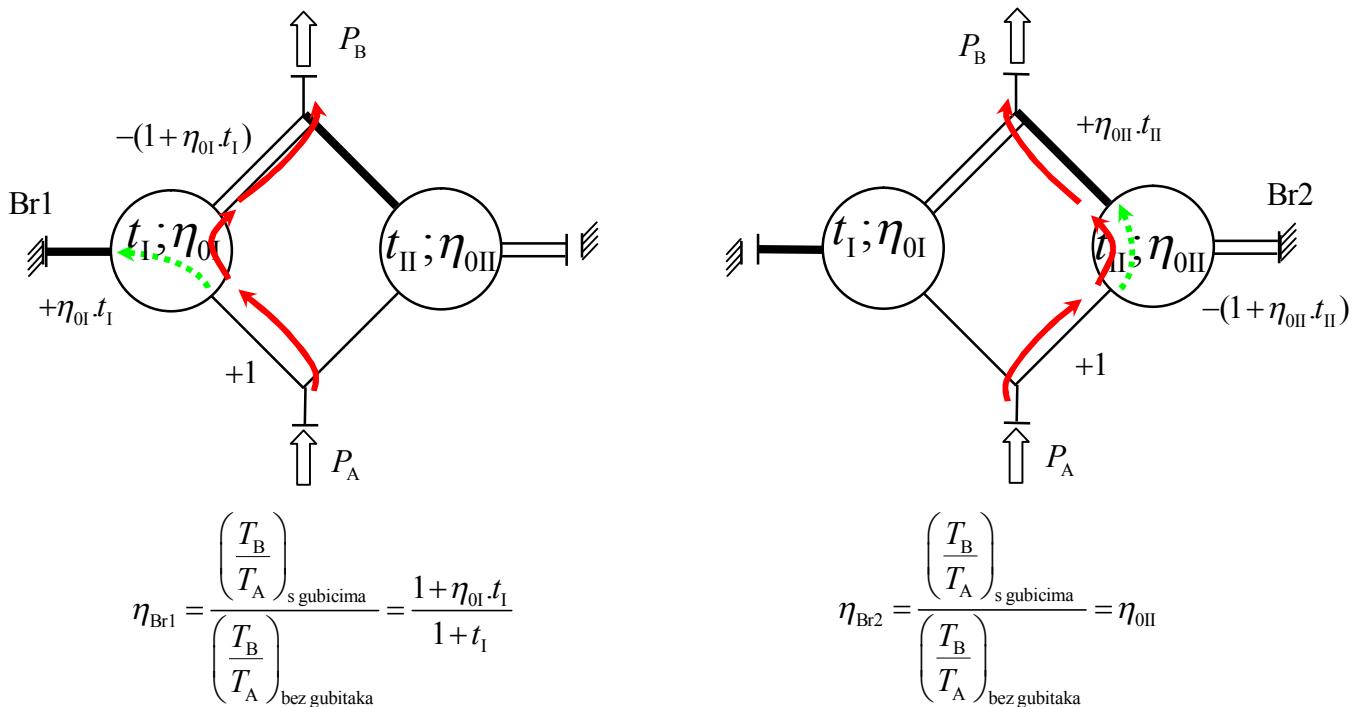
$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

$$T_{II} = T_{III} = T_A \frac{1}{1 + t_I + t_{II}}$$

**S36V6**

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

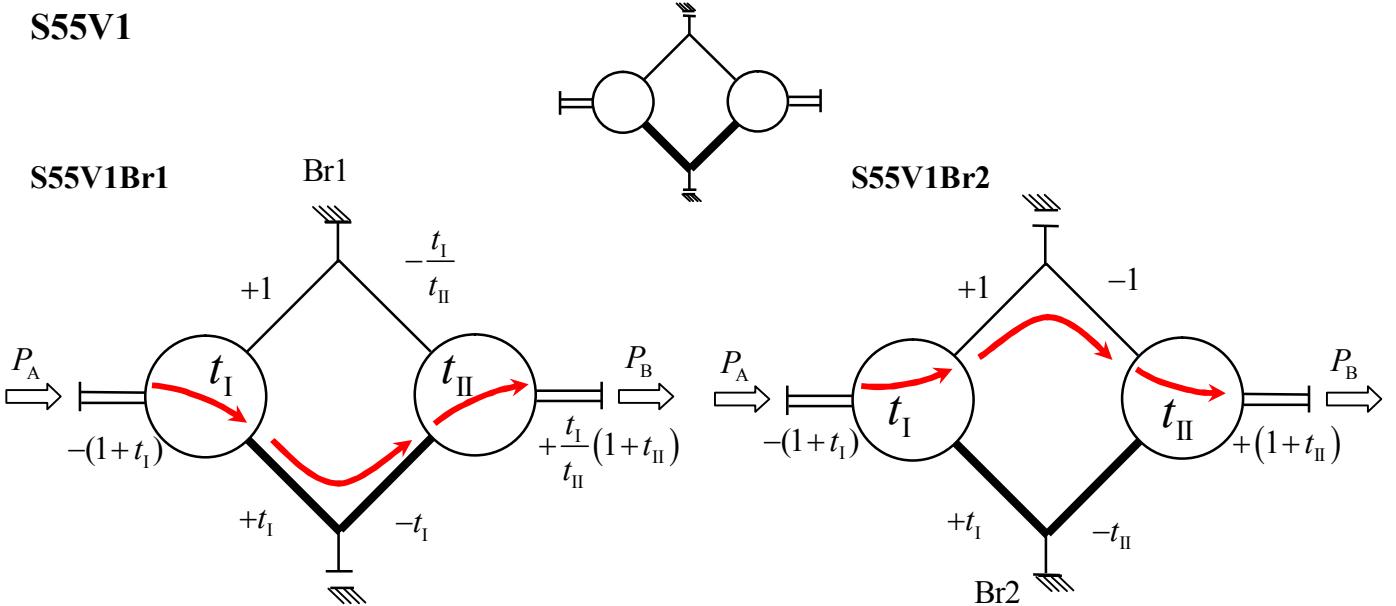


$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

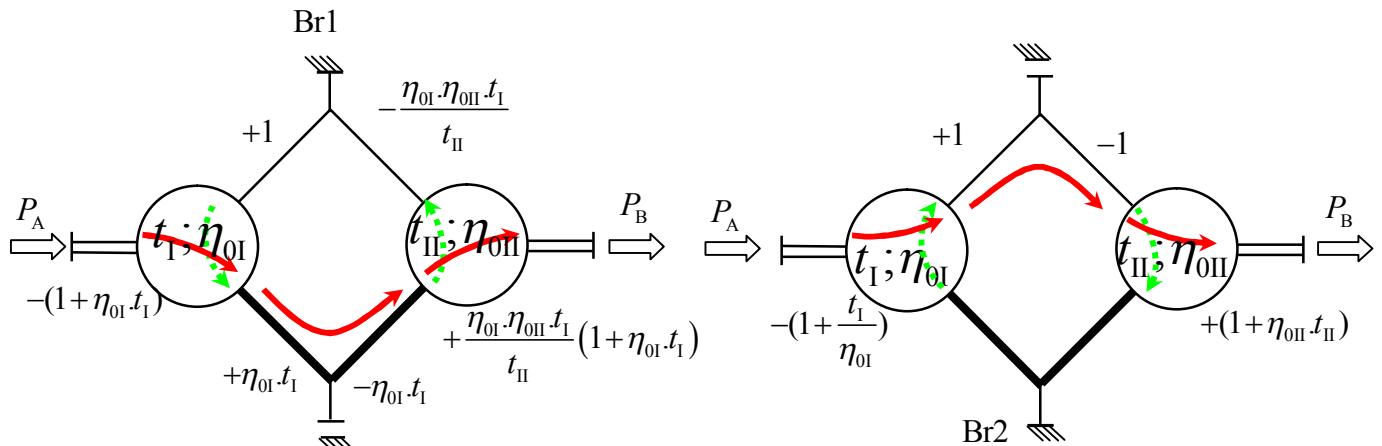
$$T_{III} = T_A$$

**S55V1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_1}{t_{II}} \cdot \frac{1+t_{II}}{1+t_I}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{1+t_{II}}{1+t_I}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



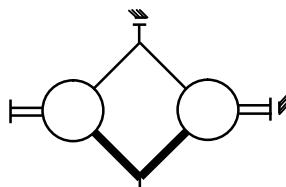
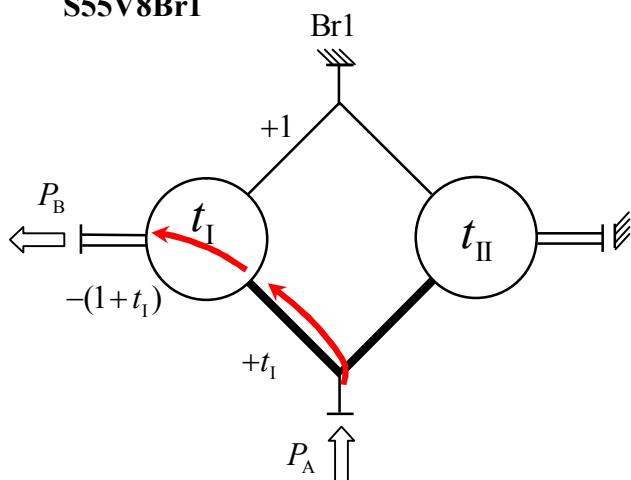
$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II} \cdot t_1}{t_{II}} \cdot \frac{1+\frac{t_{II}}{t_1}}{1+\eta_{0I} \cdot t_1}}{\frac{t_1}{t_{II}} \cdot \frac{1+t_{II}}{1+t_1}}$$

$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0II} \cdot t_{II}}{1+\frac{t_1}{\eta_{0I}}}}{\frac{1+t_{II}}{1+t_1}}$$

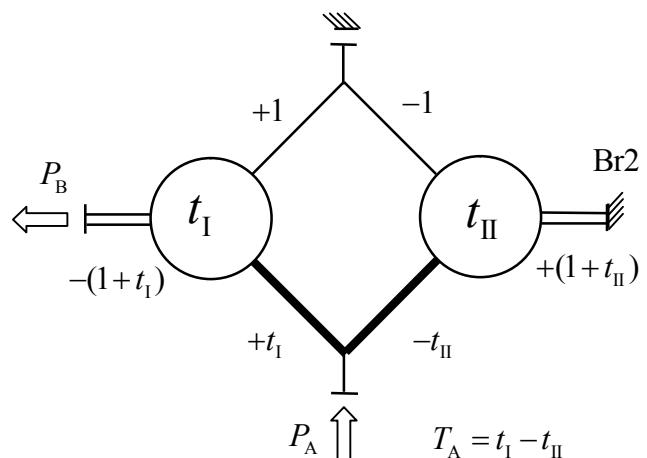
$$T_{II} = \frac{T_A}{1+t_1}$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_1}{t_{II}(1+t_1)}$$

$$T_{II} = T_{III} = \frac{T_A}{1+t_1}$$

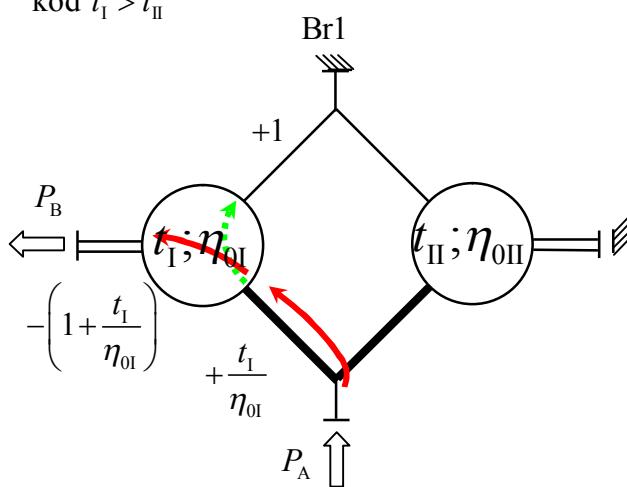
**S55V8****S55V8Br1**

$$i_{\text{Br}1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I}$$

**S55V8Br2**

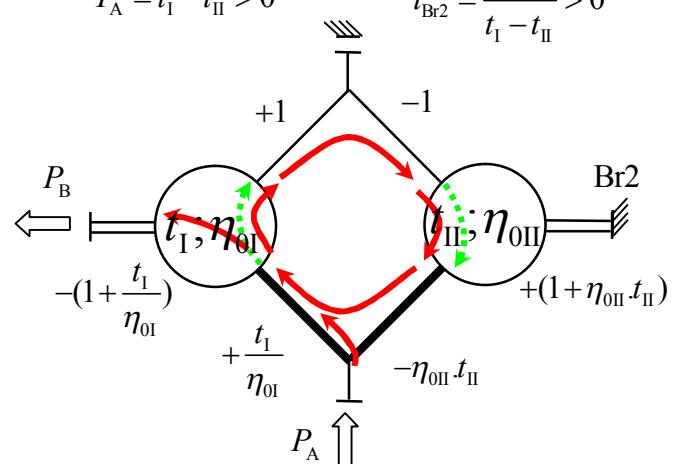
$$i_{\text{Br}2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{1+t_I}{t_I - t_{II}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

kod  $t_I > t_{II}$ 

$$T_A = t_I - t_{II} > 0$$

$$i_{\text{Br}2} = \frac{1+t_I}{t_I - t_{II}} > 0$$

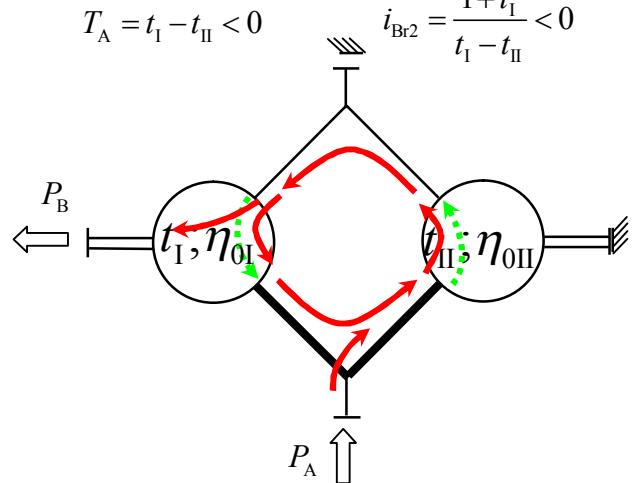


$$\eta_{\text{Br}1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$

$$\eta_{\text{Br}2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+t_I}{\eta_{0I}}}{\frac{t_I - \eta_{0II} \cdot t_{II}}{t_I - t_{II}}}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica  
kod  $t_I < t_{II}$

$$T_A = t_I - t_{II} < 0 \quad i_{Br2} = \frac{1+t_I}{t_I - t_{II}} < 0$$



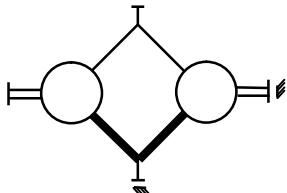
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{sgubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1+\eta_{0I} \cdot t_I}{\eta_{0I} \cdot t_I - \frac{t_{II}}{\eta_{0III}}}}{\frac{1+t_I}{t_I - t_{II}}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

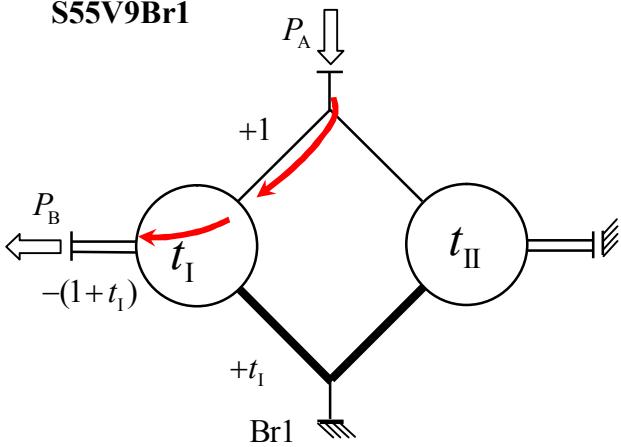
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_{III} = \frac{T_A}{t_I - t_{II}}$$

S55V9

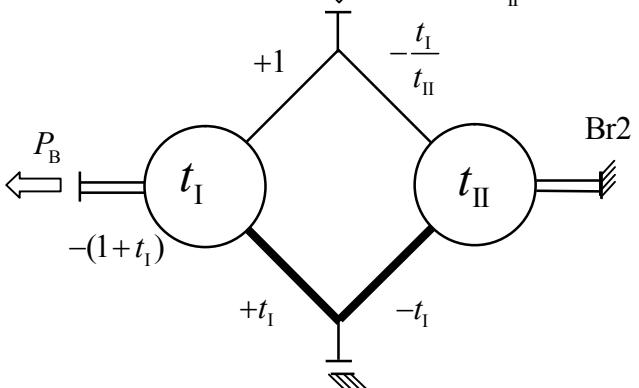


S55V9Br1



$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$

S55V9Br2



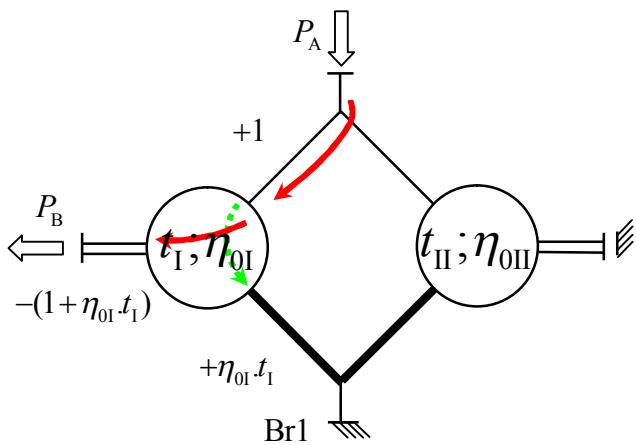
$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{t_{II}(1+t_I)}{t_{II}-t_I} = \frac{t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{t_{II}-t_I}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

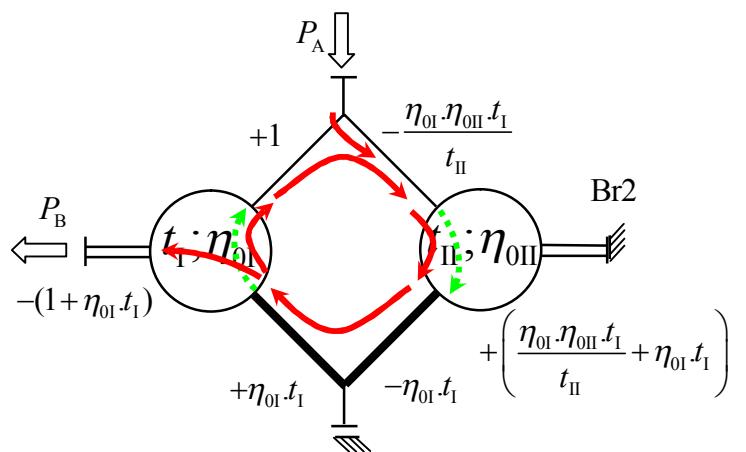
kod  $t_I > t_{II}$ 

$$T_A = \frac{t_{II}-t_I}{t_{II}} < 0 \quad i_{Br2} = \frac{t_{II}+t_I \cdot t_{II}}{t_{II}-t_I} < 0$$

Reduktor



$$\eta_{Br1} = \frac{(T_B)_{s \text{ gubicima}}}{(T_B)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$



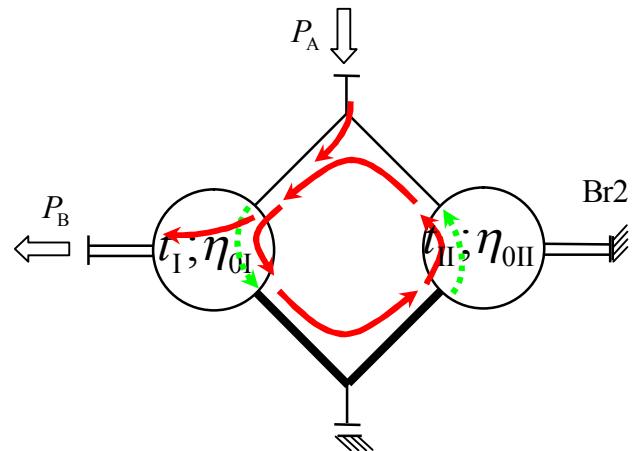
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{s \text{ gubicima}} - \frac{\eta_{0II} \cdot t_{II} - \eta_{0II} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}} - \frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_{II} - t_I}}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica

kod  $t_I < t_{II}$

$$T_A = \frac{t_{II} - t_I}{t_{II}} > 0 \quad i_{Br2} = \frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_{II} - t_I} > 0$$

Reduktor



$$\eta_{Br2} = \frac{\left( \frac{T_B}{T_A} \right)_{\text{sgubicima}}}{\left( \frac{T_B}{T_A} \right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_{II} - \eta_{0I} \cdot t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II} - \eta_{0III}}}{\frac{t_{II} - \eta_{0I} \cdot t_I}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}} = \frac{t_{II} - \eta_{0I} \cdot t_I \cdot t_{II}}{t_{II} - t_I}$$

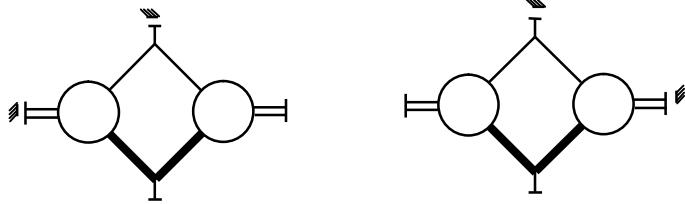
$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$

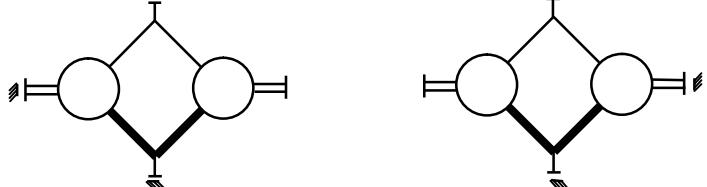
$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{t_{II} - t_I}$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{t_{II} - t_I}$$

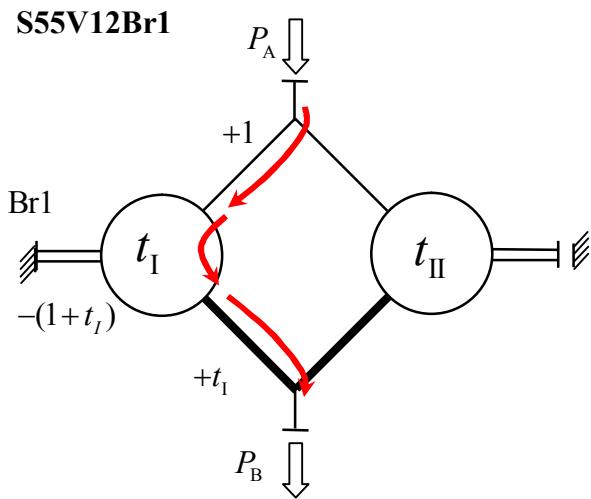
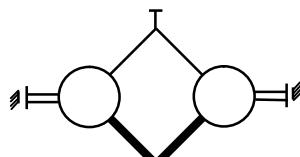
**S55V4(V10) ≡ S55V8(V2)**  
ako se zamjene  $t_I$  i  $t_{II}$



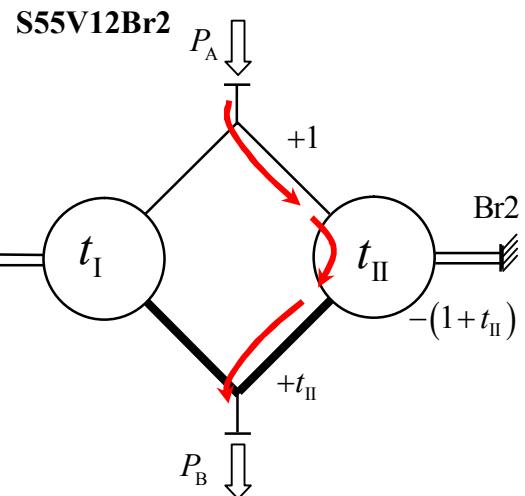
**S55V5(V11) ≡ S55V9(V3)**  
ako se zamjene  $t_I$  i  $t_{II}$



**S55V12**

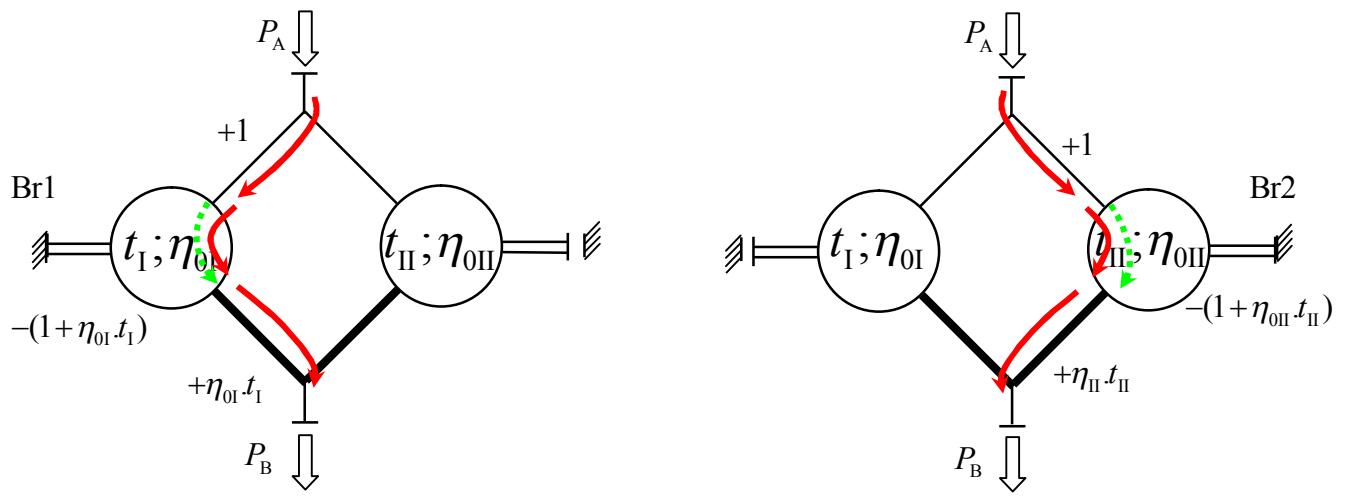


$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_I$$



$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{II}$$

Zadržavanje smjera izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$

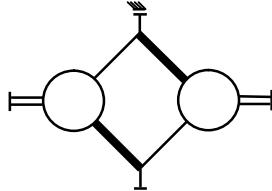
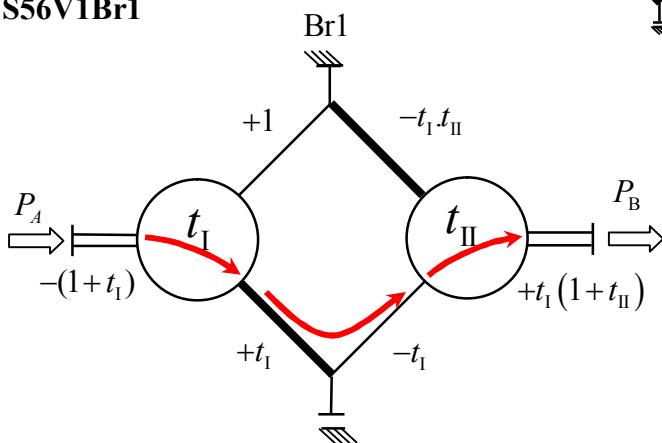
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \eta_{0I}$$

$$T_{II} = T_A$$

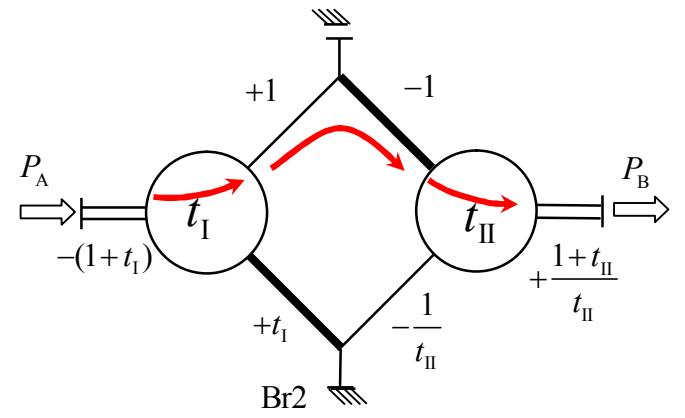
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

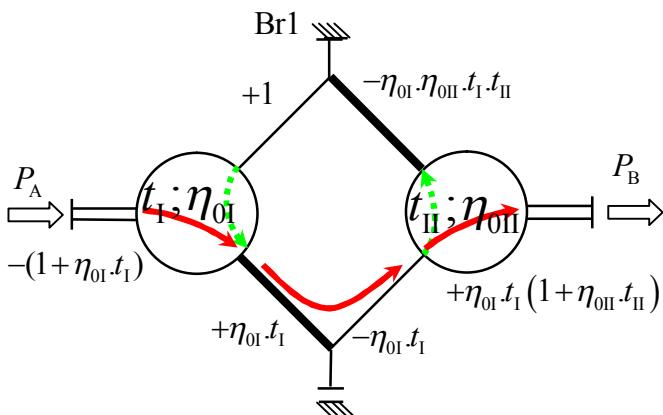
**S56V1****S56V1Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I} > 1$$

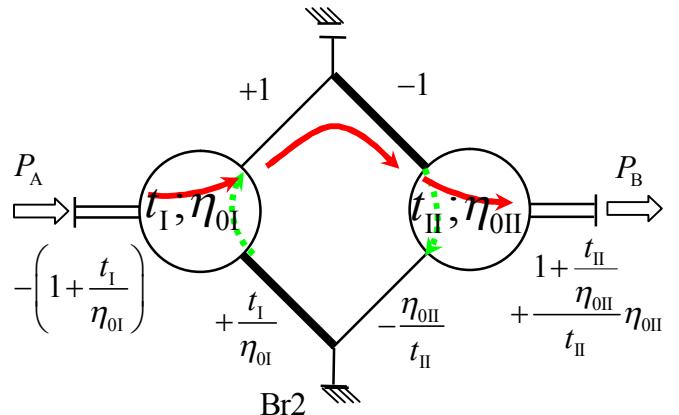
**S56V12Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1 + t_{II}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}} < 1$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\eta_{0I} \cdot t_I + \eta_{0I} \cdot \eta_{0III} \cdot t_I \cdot t_{II}}{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}}{\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{1 + t_I}}$$



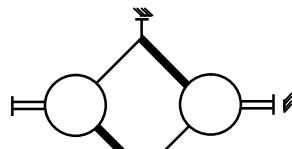
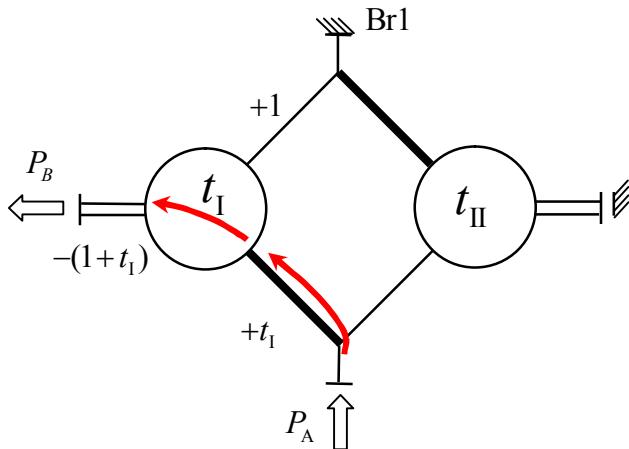
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0II}}}{\frac{t_{II} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}}{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{1 + t_I}$$

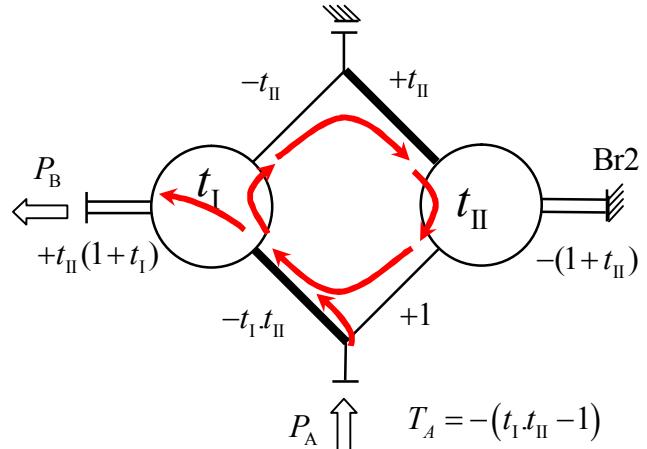
$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{1 + t_I}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{1 + t_I}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}$$

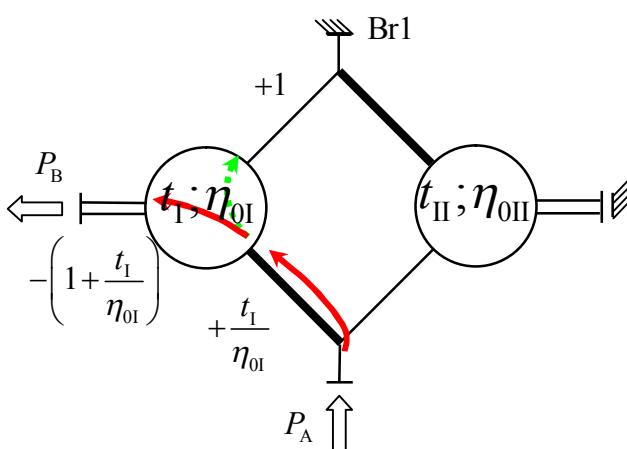
**S56V8****S56V8Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = 1 + \frac{1}{t_I}$$

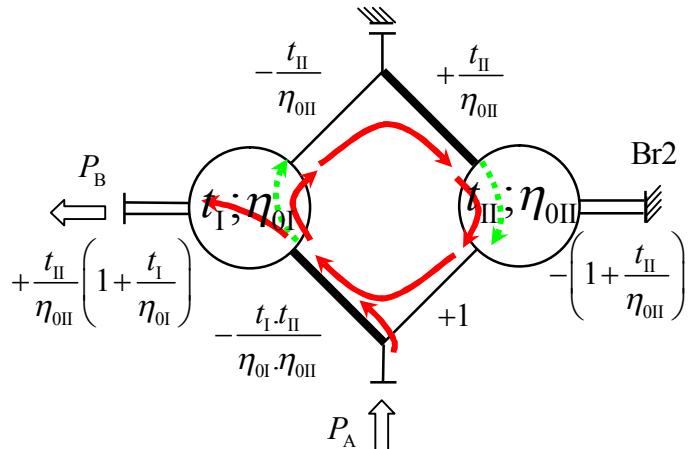
**S56V8Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = \frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \frac{\eta_{0I}}{t_I}}{1 + \frac{1}{t_I}}$$



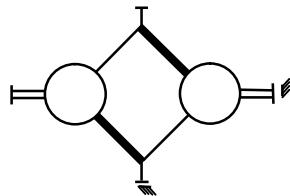
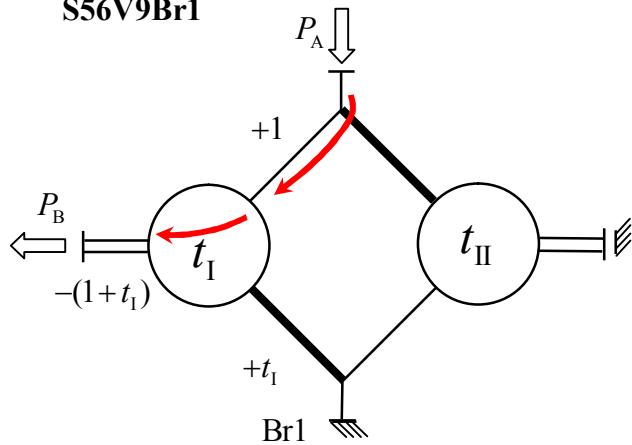
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0II}} - 1}{\frac{t_{II} + t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}} - 1}$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I}$$

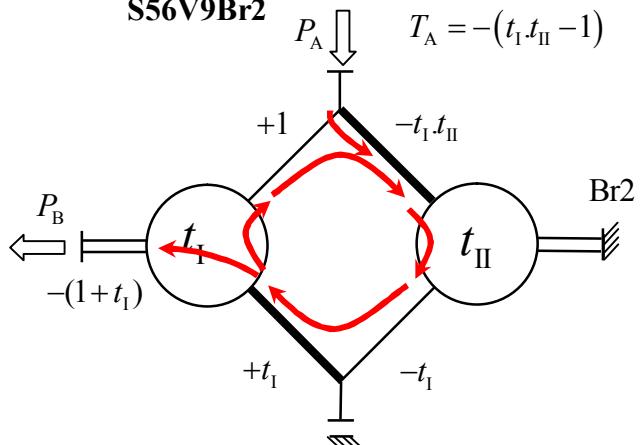
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

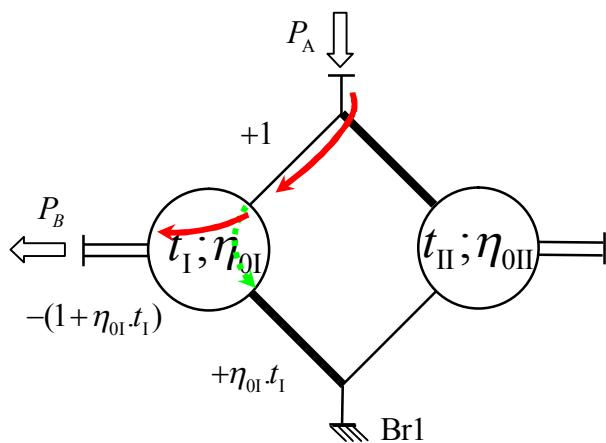
**S56V9****S56V9Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + t_I$$

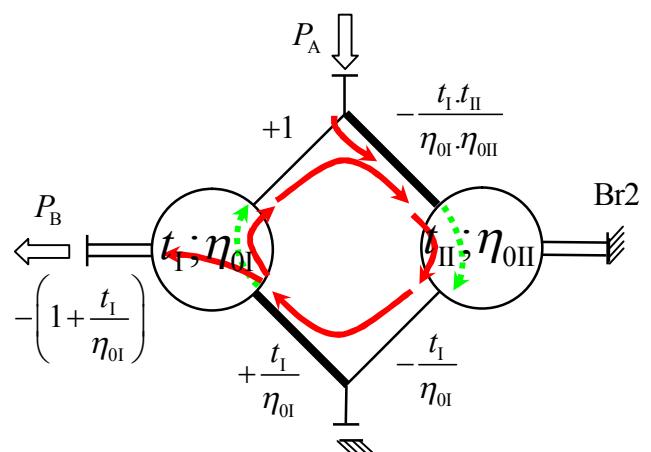
**S56V9Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1+t_I}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0I} \cdot t_I}{1 + t_I}$$



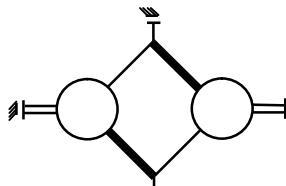
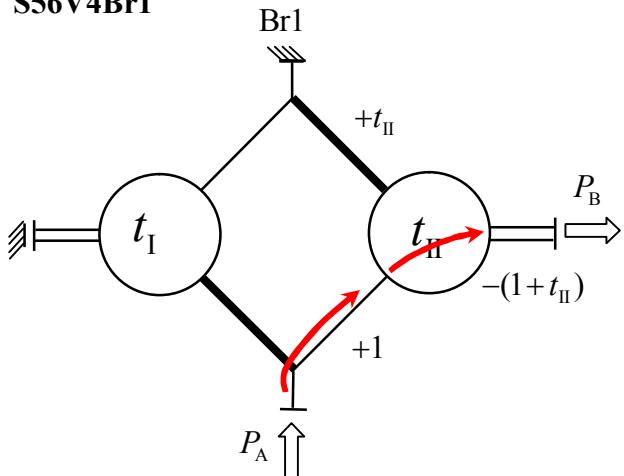
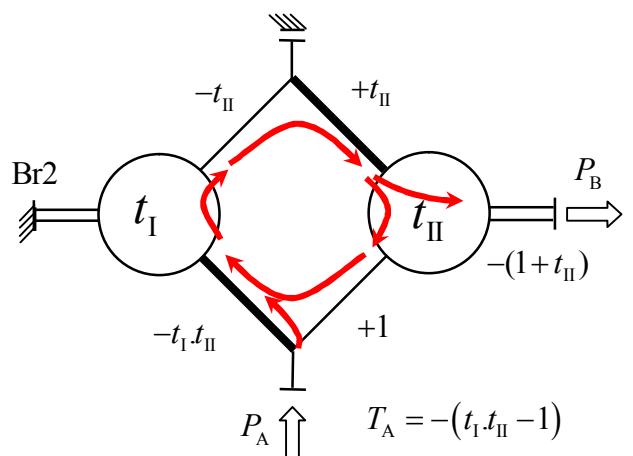
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_I}{\eta_{0I}}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}} - 1}{\frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I}} - 1}$$

$$T_{II} = T_A$$

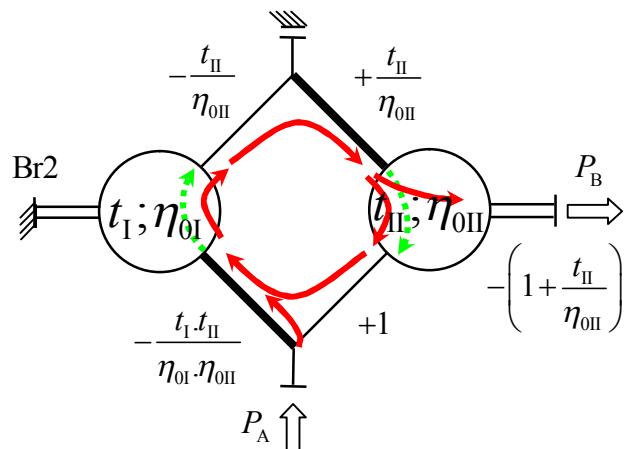
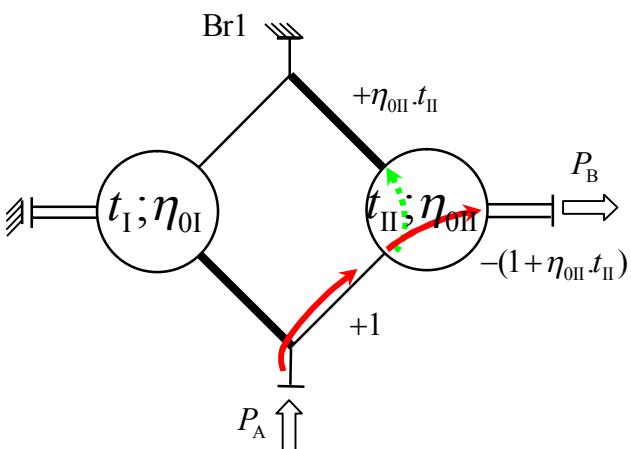
$$T_{III} = 0$$

$$T_{II} = \frac{T_A}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

**S56V4****S56V4Br1****S56V4Br2**

Promjena smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II} \cdot t_{II}}{1 + t_{II}}$$

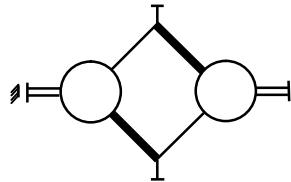
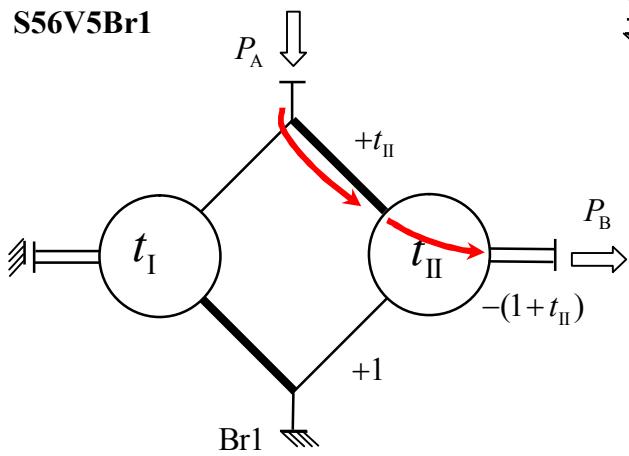
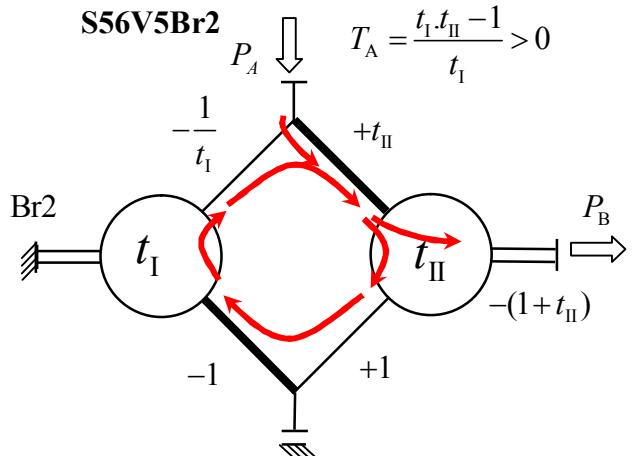
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}{\frac{1 + \frac{t_{II}}{\eta_{0II}}}{t_I \cdot t_{II} - 1}}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = T_A$$

$$T_{II} = T_A \frac{t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

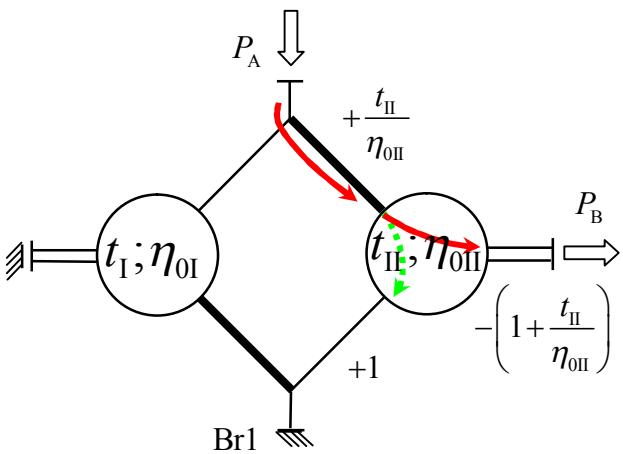
$$T_{III} = \frac{T_A}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

**S56V5****S56V5Br1****S56V5Br2**

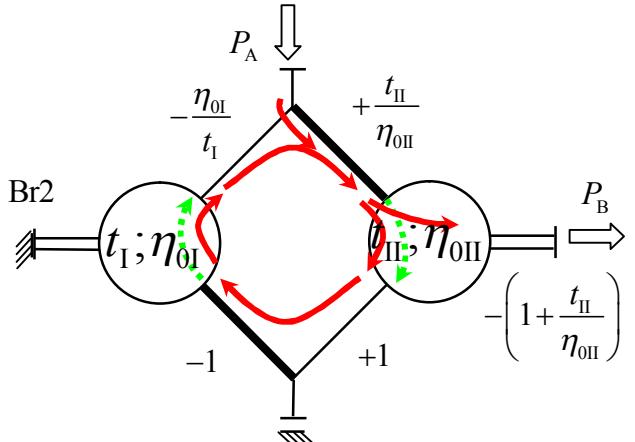
$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = +1 + \frac{1}{t_{II}}$$

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = +\frac{t_I + t_I \cdot t_{II}}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{1 + \eta_{0II}}{1 + \frac{1}{t_{II}}}$$



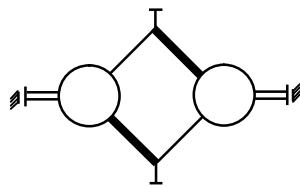
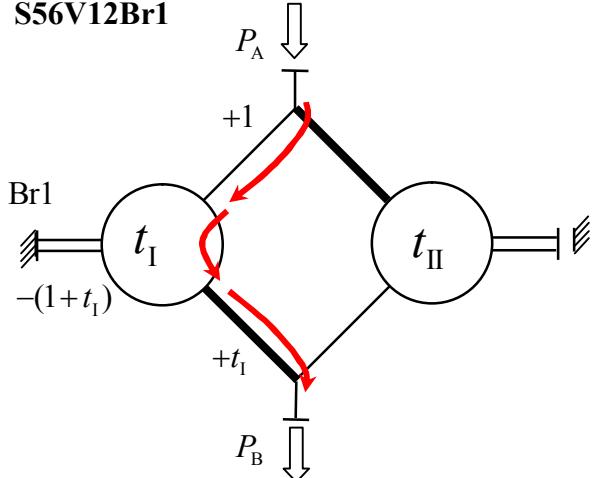
$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{s gubicima}}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_{\text{bez gubitaka}}} = \frac{\frac{t_I}{\eta_{0I}} + \frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}}}{\frac{t_I \cdot t_{II}}{\eta_{0I} \cdot \eta_{0II}} - 1}$$

$$T_{II} = 0$$

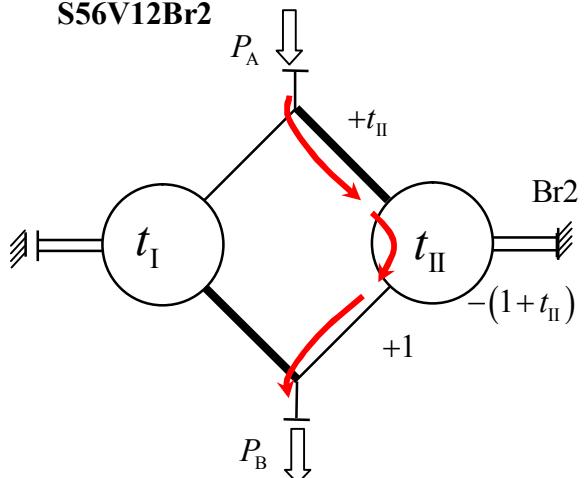
$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

$$T_{II} = T_A \frac{1}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

$$T_{III} = T_A \frac{t_I}{t_I \cdot t_{II} - 1}$$

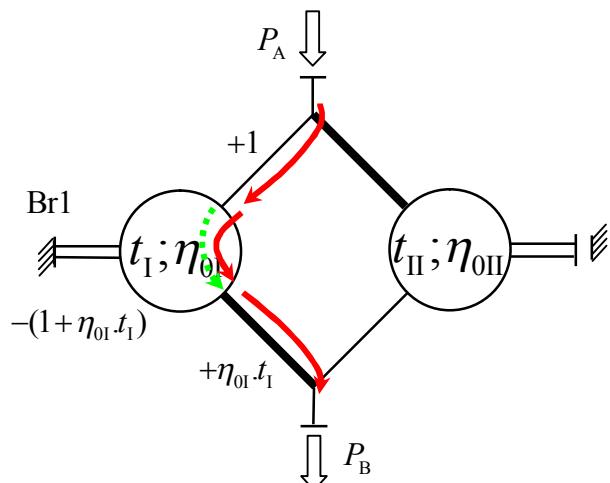
**S56V12****S56V12Br1**

$$i_{Br1} = -\frac{T_B}{T_A} = -t_{II}$$

**S56V12Br2**

$$i_{Br2} = -\frac{T_B}{T_A} = -\frac{1}{t_I}$$

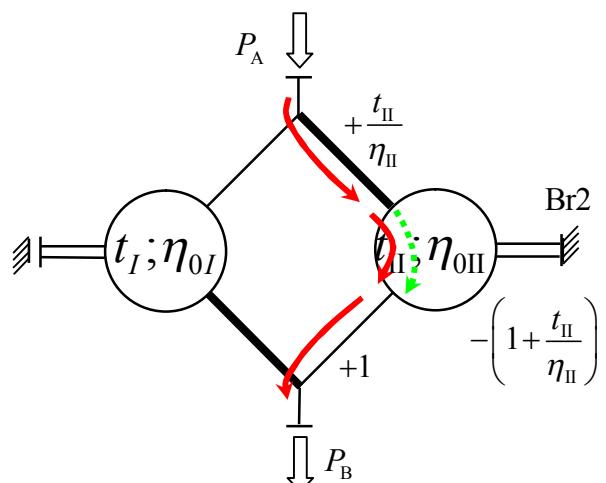
Zadržavanje smjera vrtnje izlaznog vratila kod promjene aktivnosti kočnica



$$\eta_{Br1} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0I}$$

$$T_{II} = T_A$$

$$T_{III} = 0$$



$$\eta_{Br2} = \frac{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_s \text{gubicima}}{\left(\frac{T_B}{T_A}\right)_\text{bez gubitaka}} = \eta_{0II}$$

$$T_{II} = 0$$

$$T_{III} = \frac{T_A}{t_{II}}$$

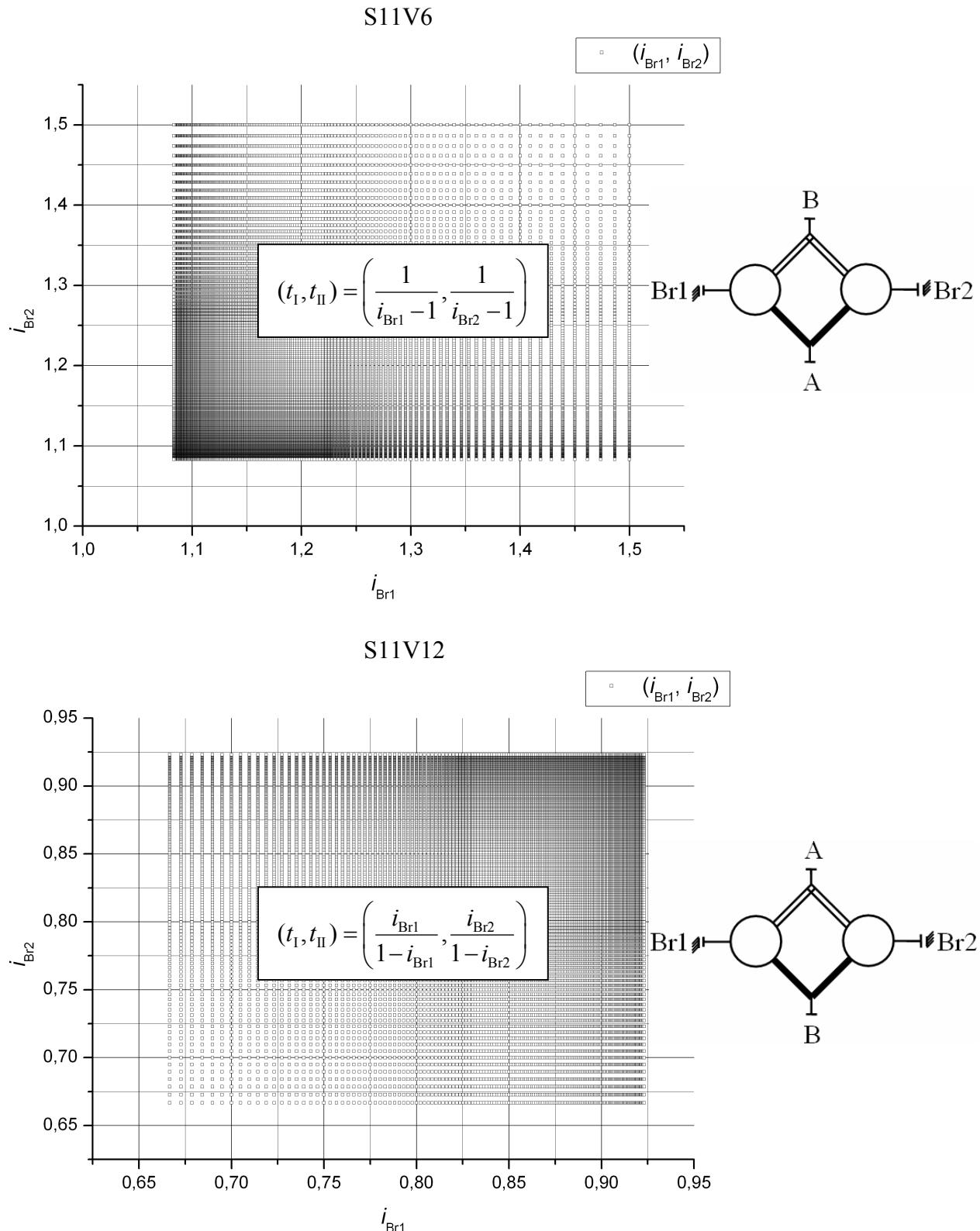


**PRILOG 2****Mjenjačke mogućnosti pretvarača s kočnicama raspoređenim na zasebnim vratilima**

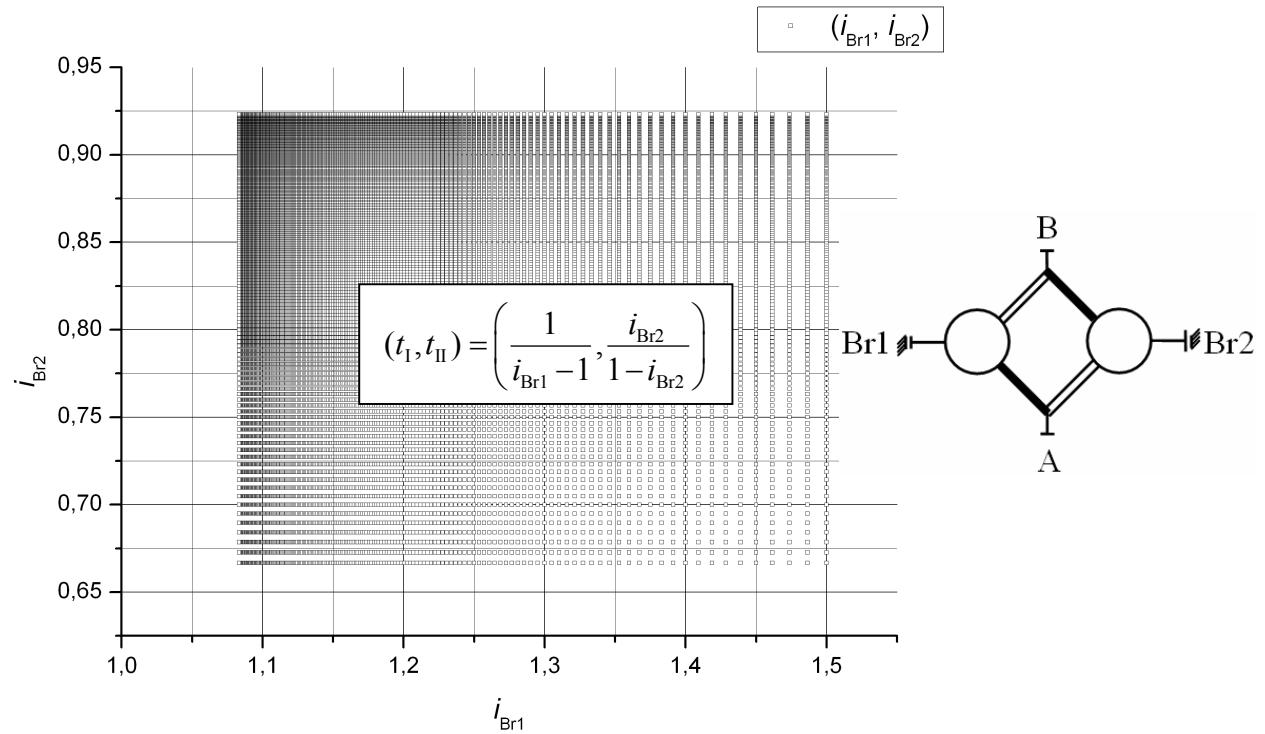
U Prilogu 2 su prikazane moguće kombinacije prijenosnih omjera kod dvobrzinskih varijanti pretvarača. Određivanje mogućih kombinacija je provedeno pod pretpostavkom da se idealni momentni omjeri oba planetna sloga mogu kretati u konstrukcijski izvedivom intervalu od 2 do 12.

Uz graf koji prikazuje područje primjene varijante pretvarača nalazi se i simbolički prikaz pretvarača koji daje uvid u njegovu strukturu, položaj pogonskog i radnog stroja te kočnica. Vratilo na koje se spaja pogonski stroj je obilježeno s "A". Vratilo na koje se spaja radni stroj je obilježeno s "B". Kočnice su obilježene s oznakama Br1 i Br2.

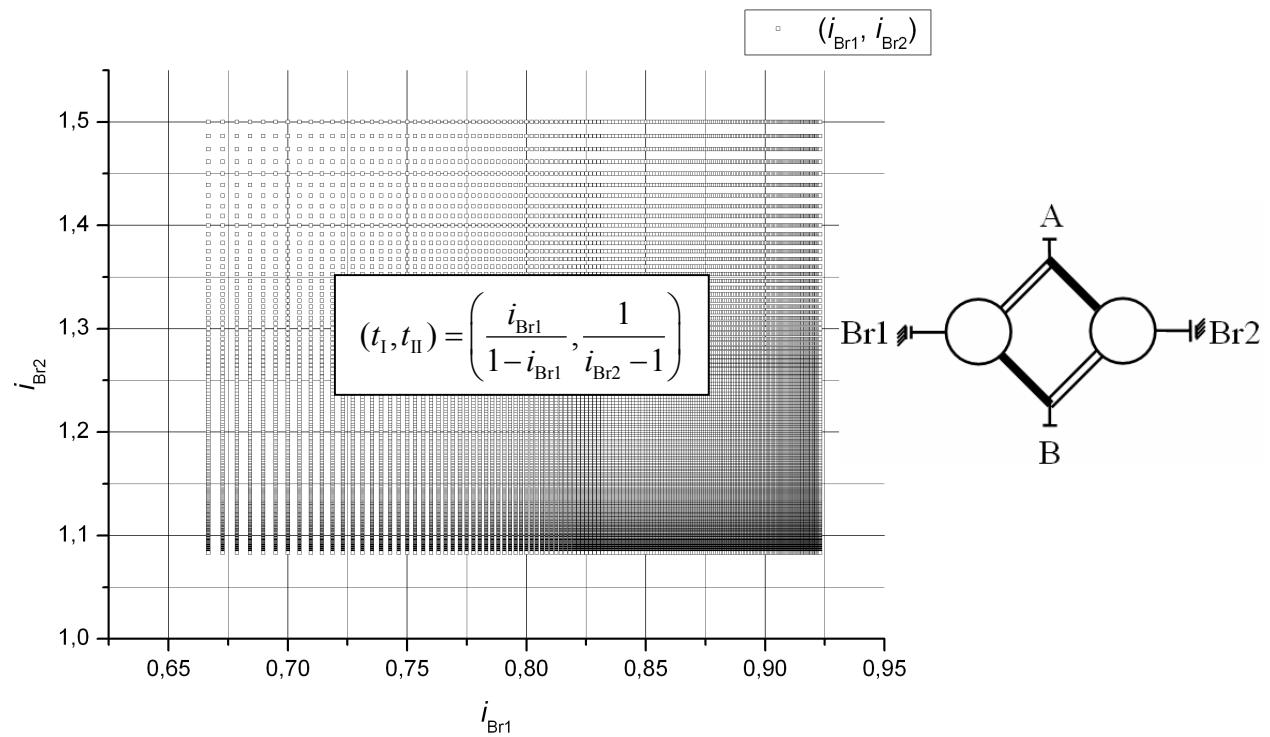
Uz graf su navedeni i izrazi koji omogućuju da se za bilo koji par ostvarivih prijenosnih omjera odrede idealni momentni omjeri planetnih slogova pretvarača. Ovi izrazi predstavljaju osnovu za kinematički sintezu dvobrzinskih pretvarača.

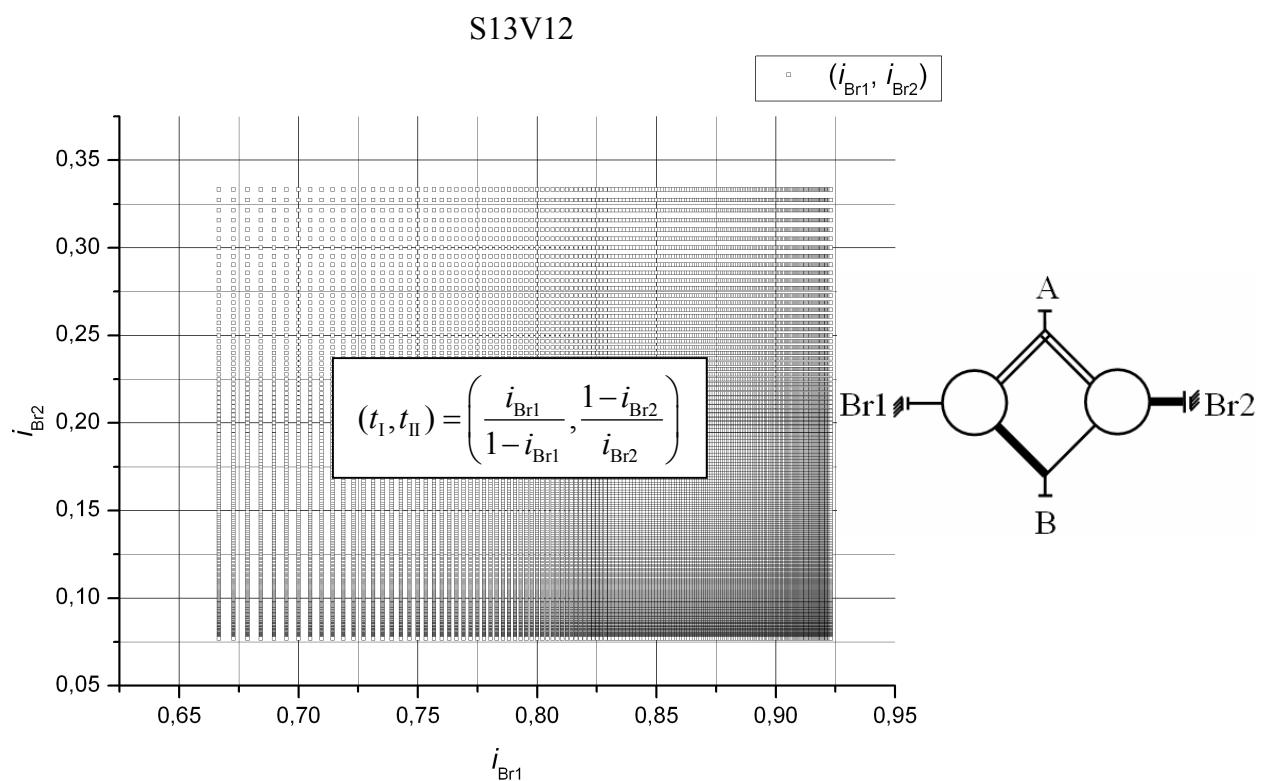
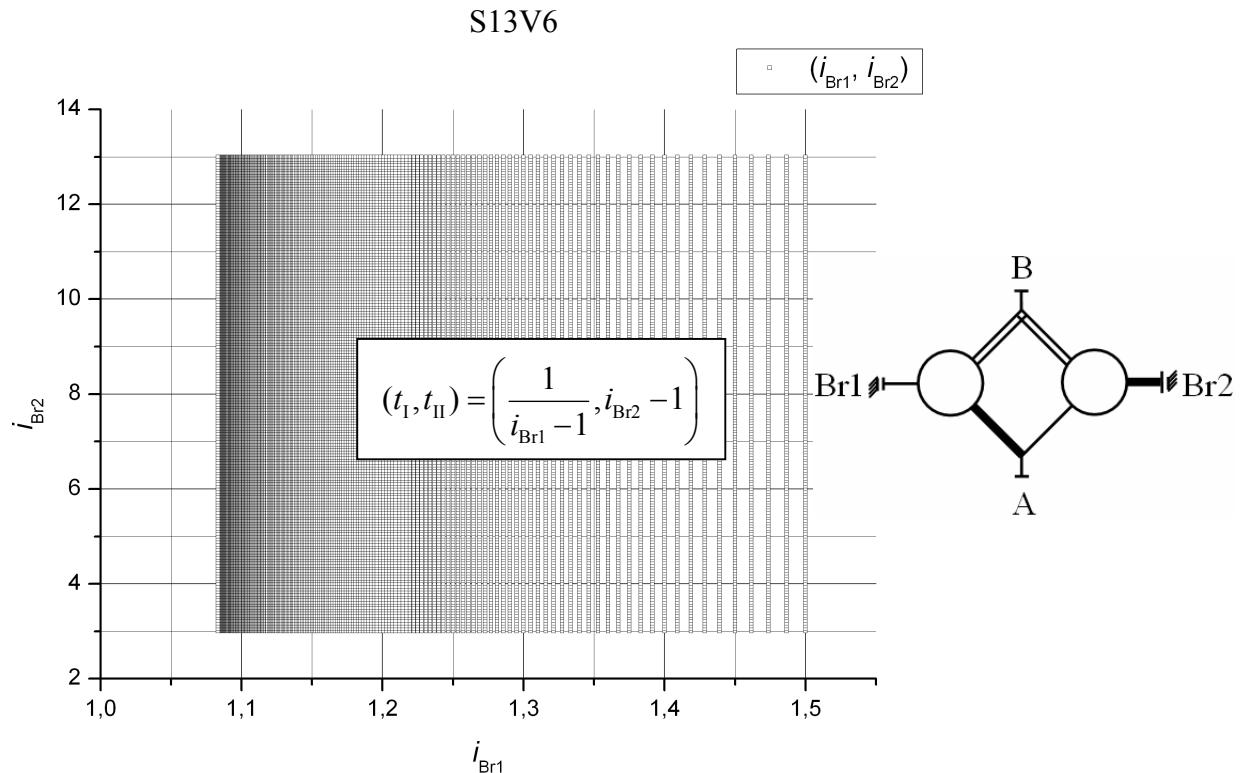


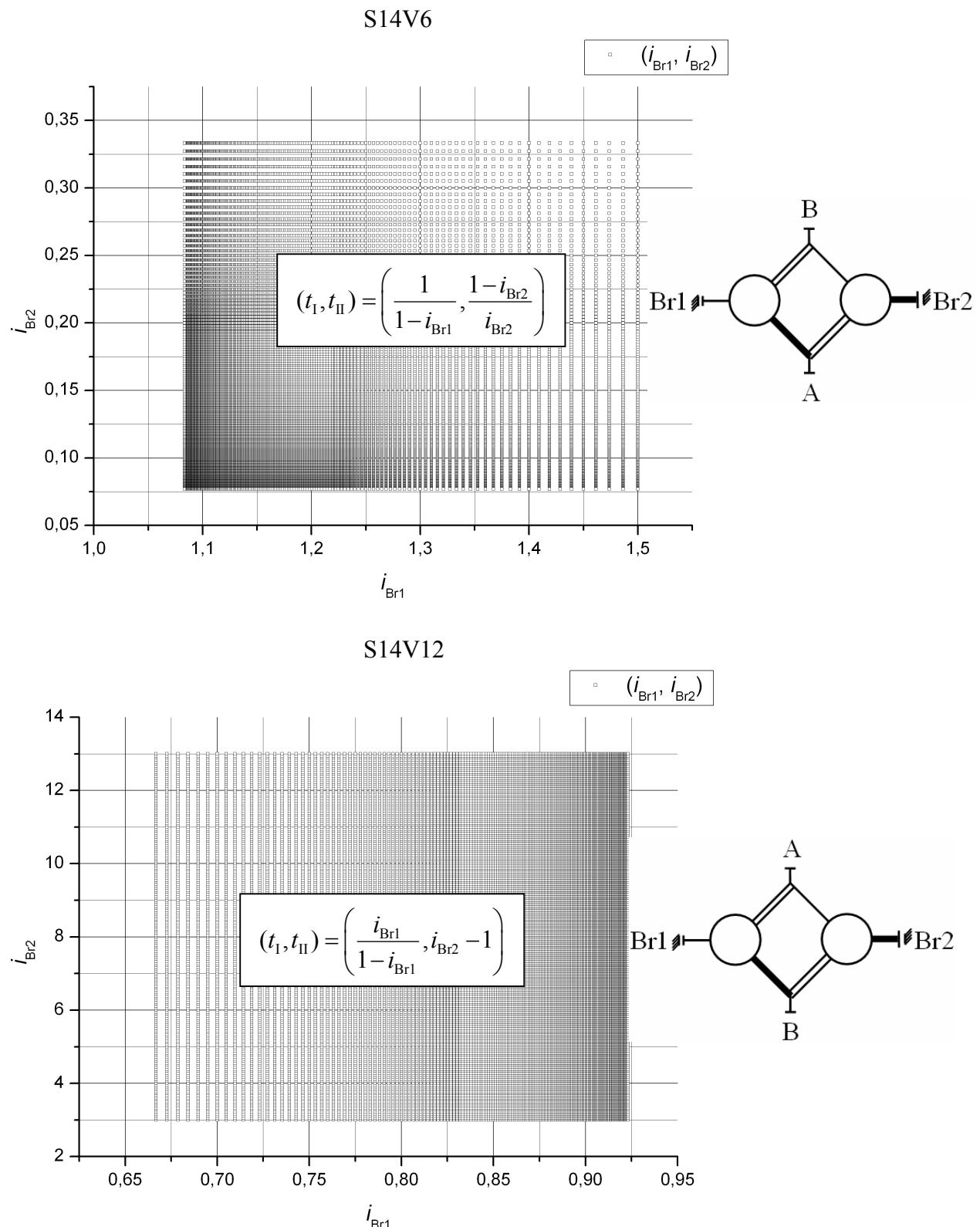
S12V6

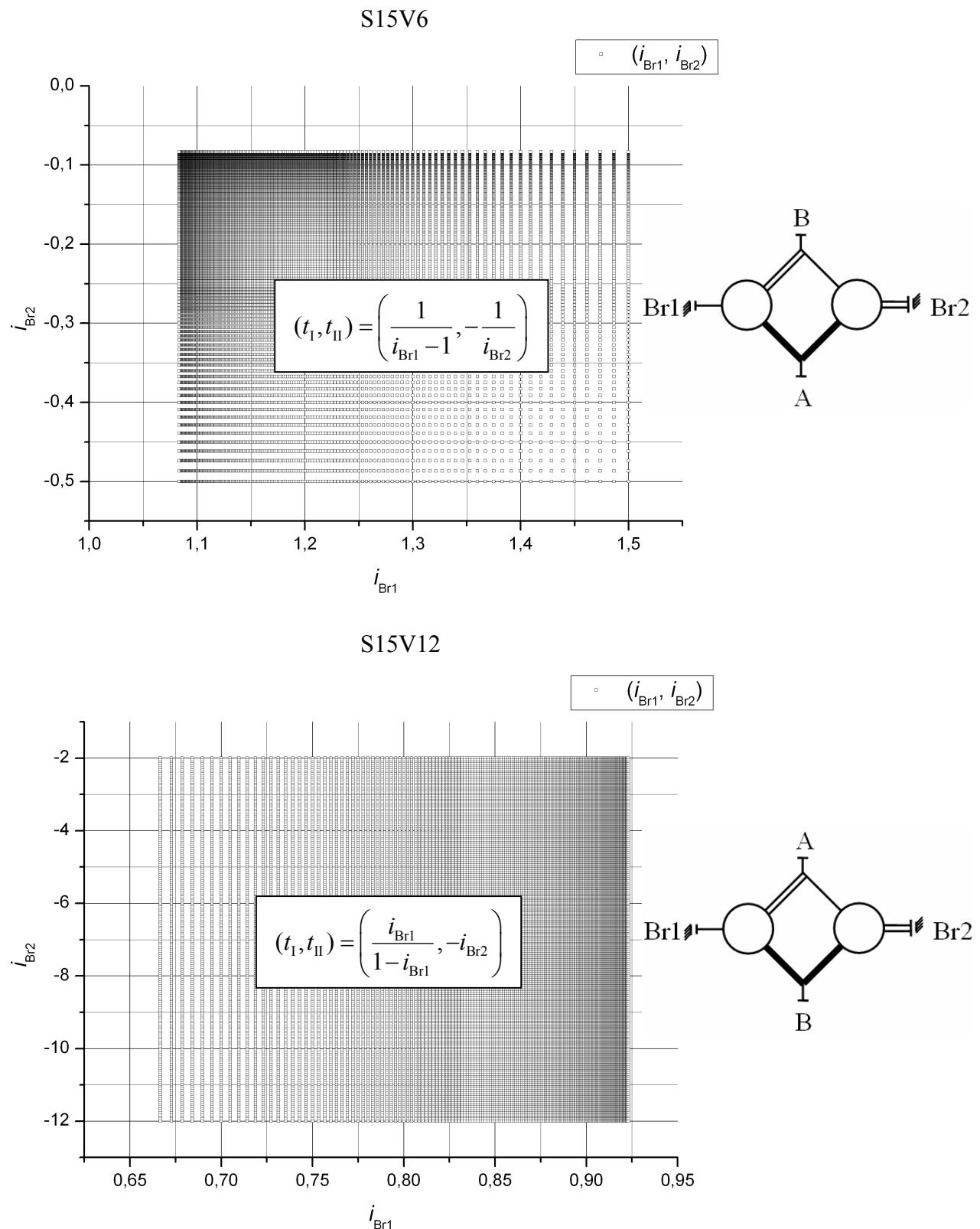


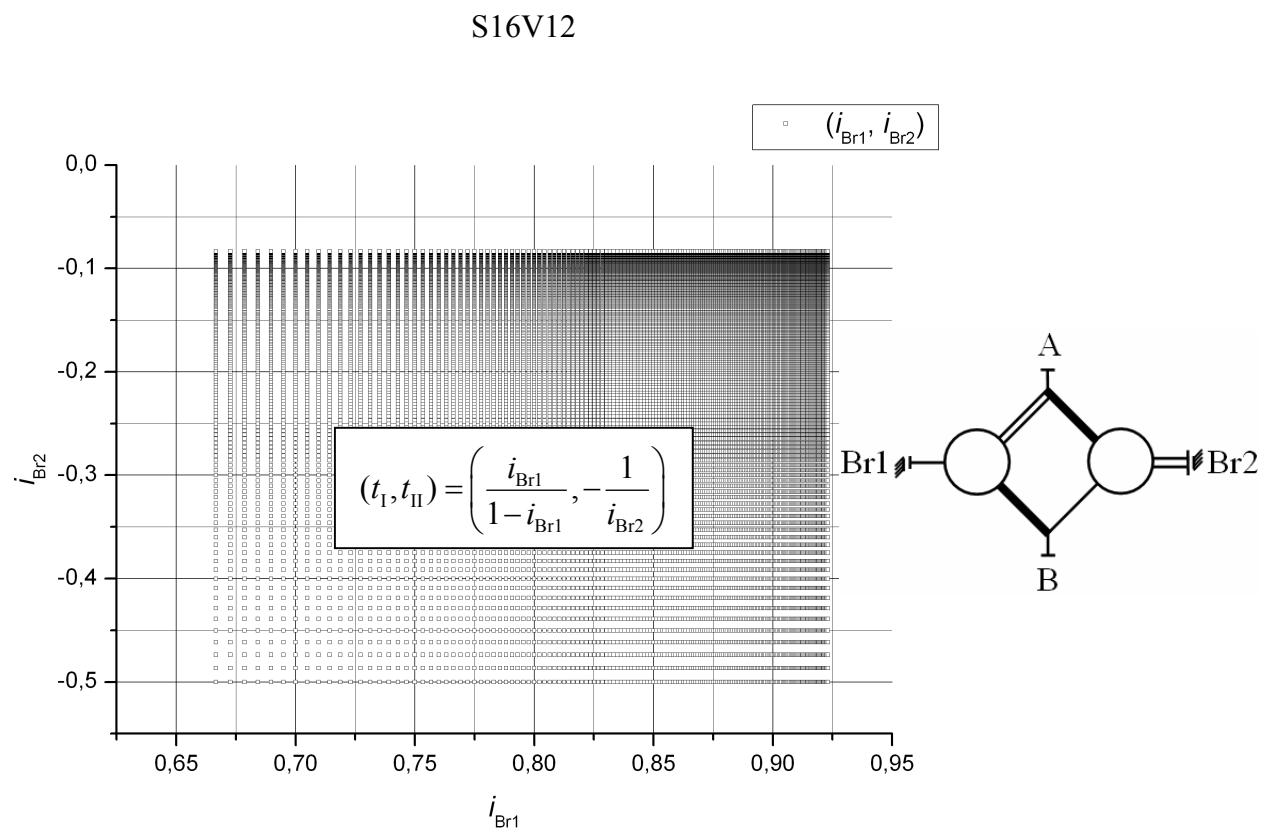
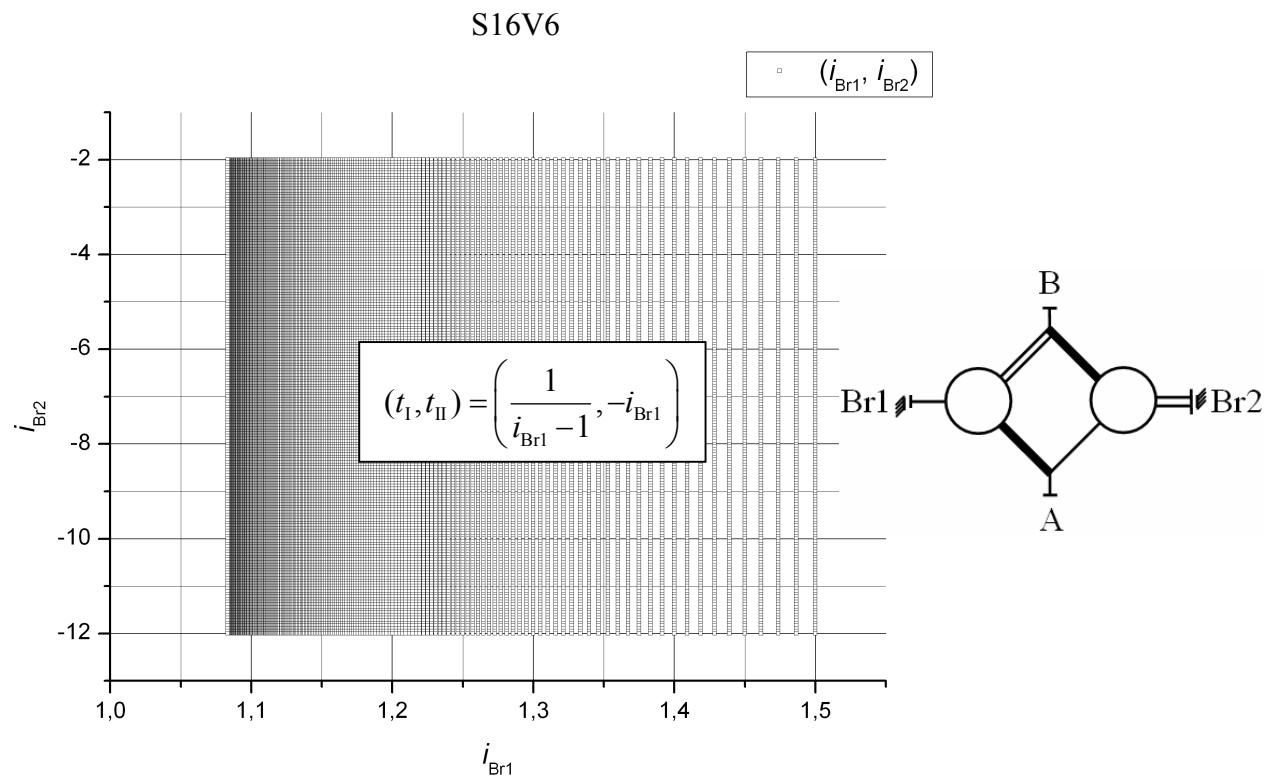
S12V12

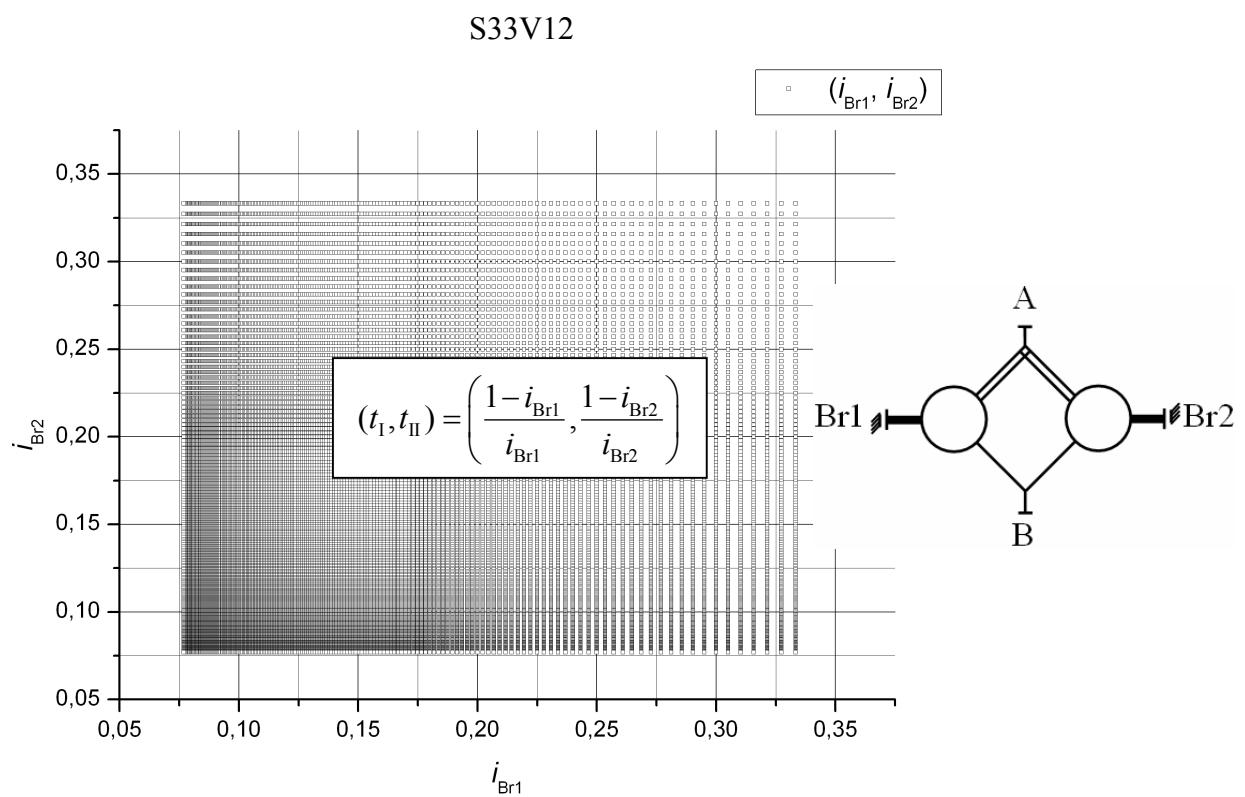
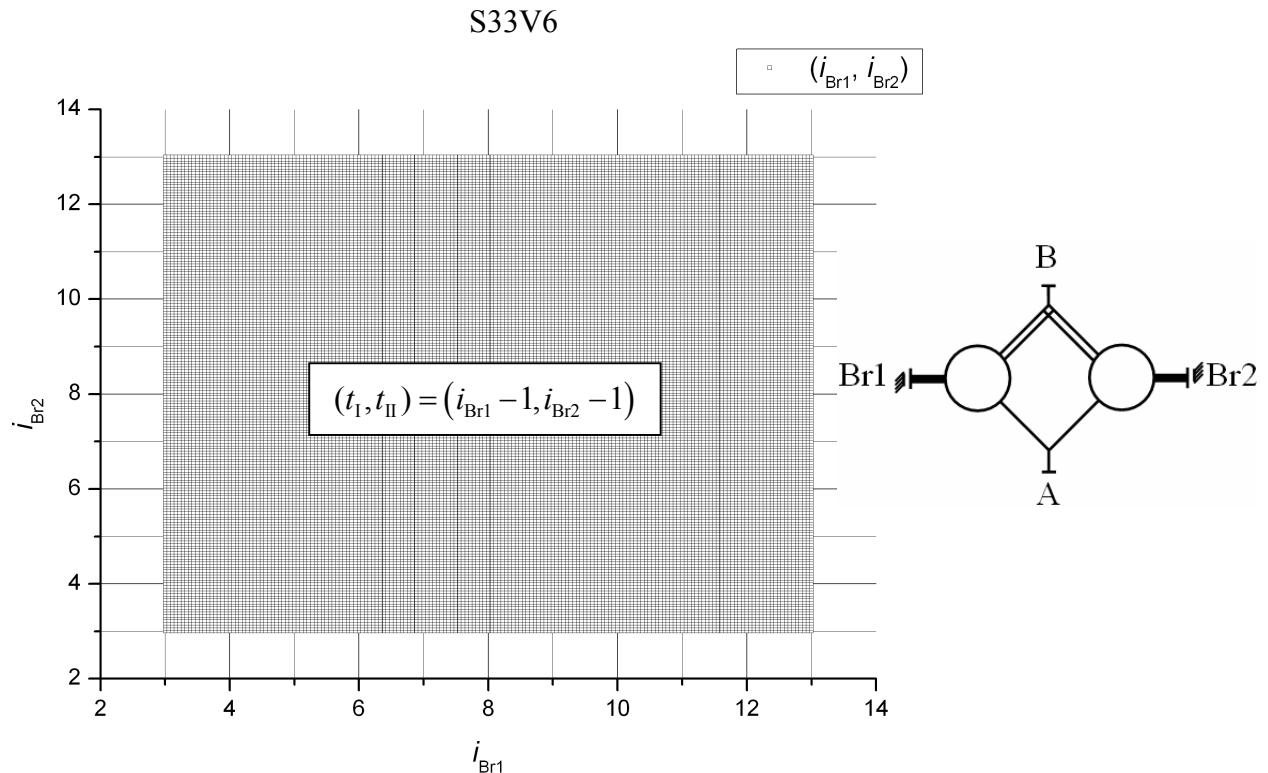


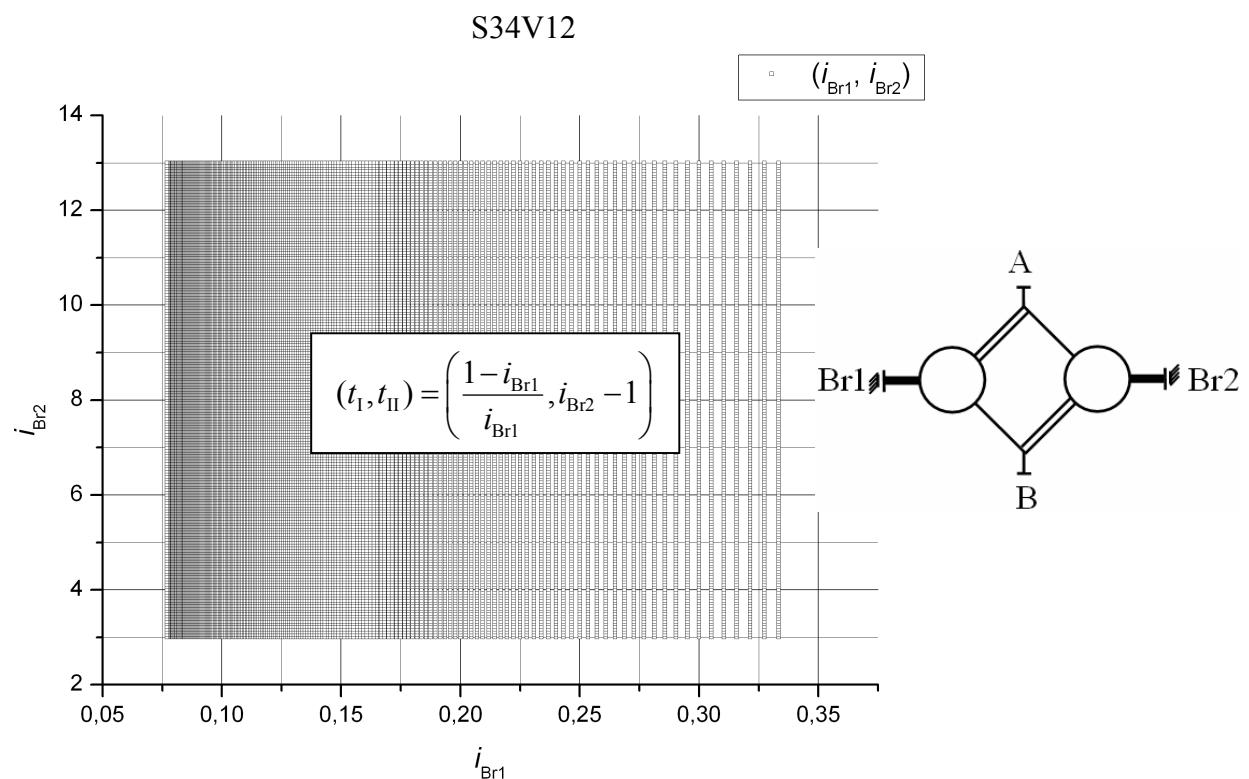
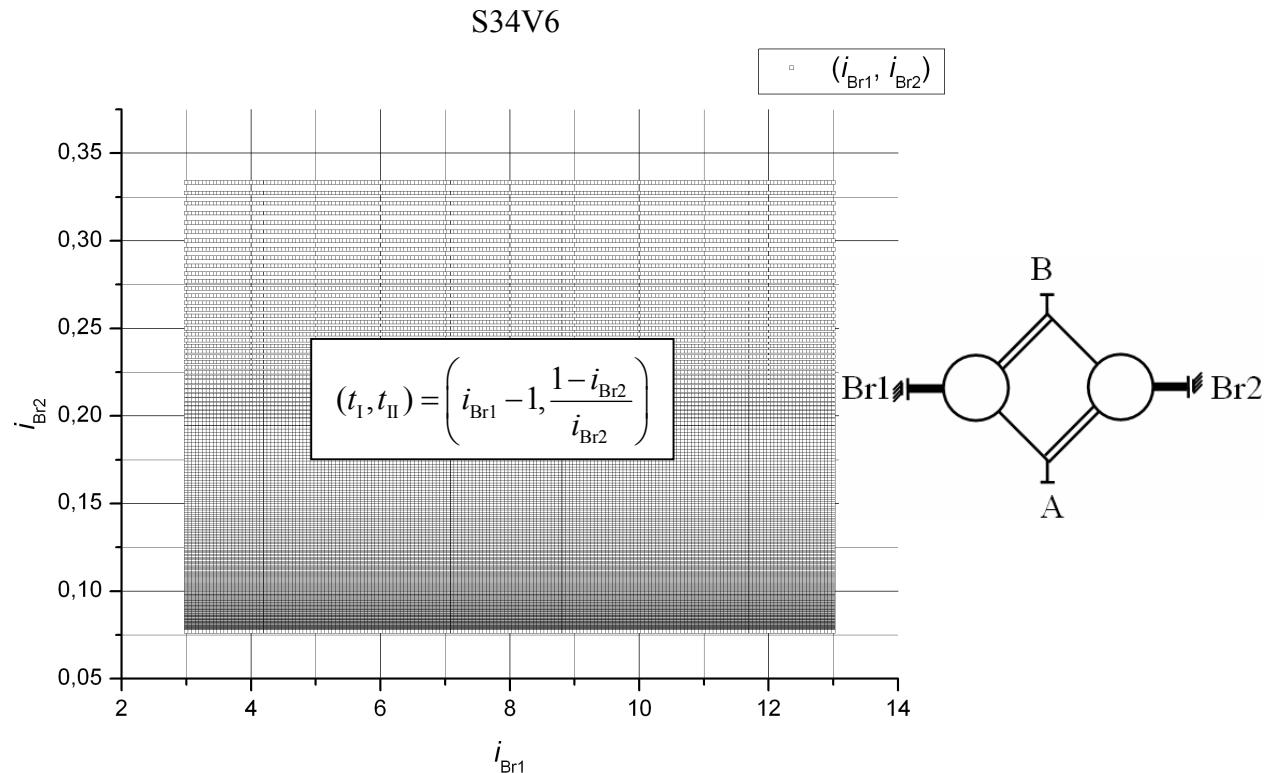


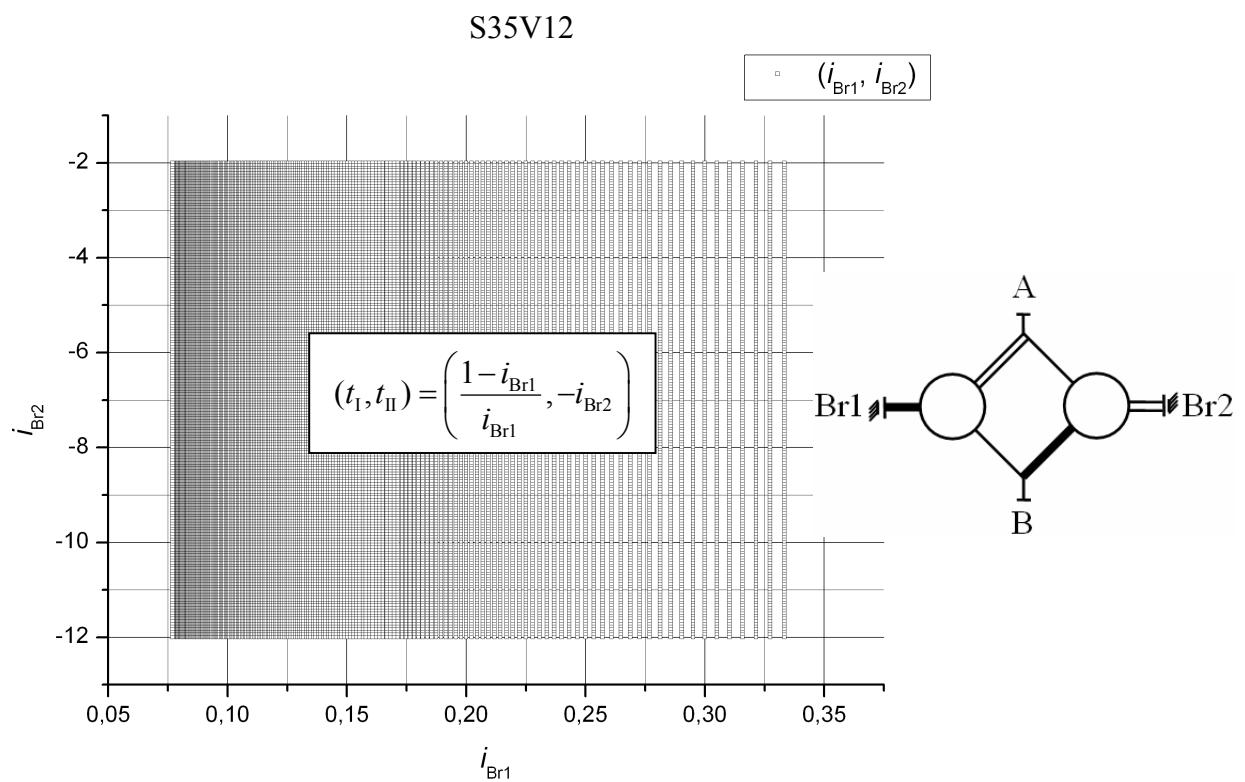
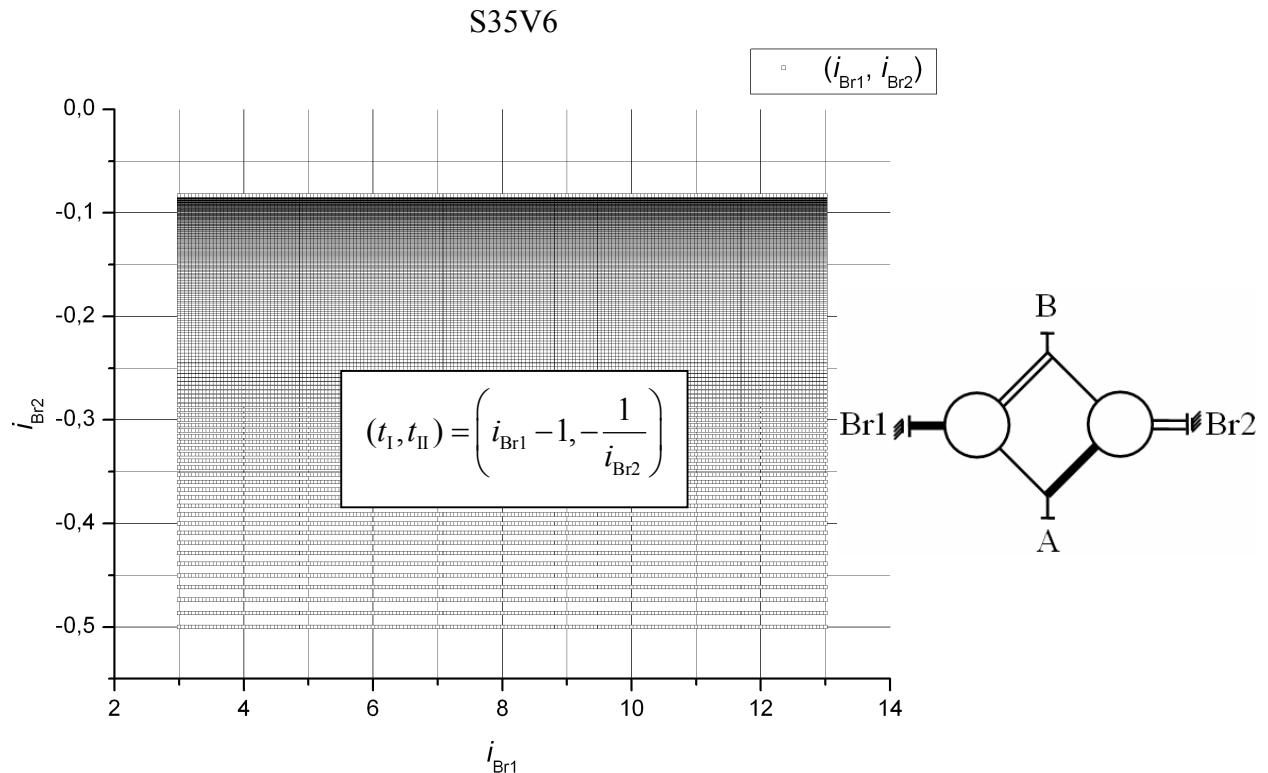


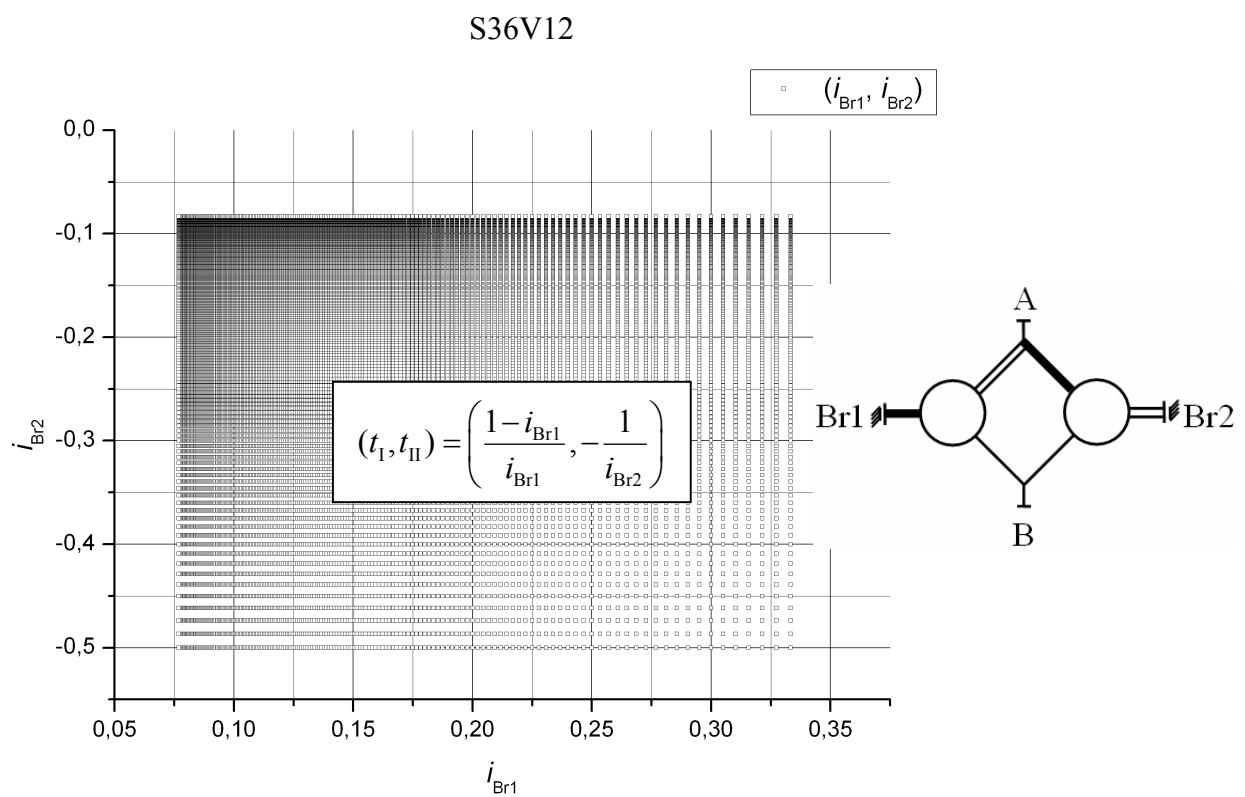
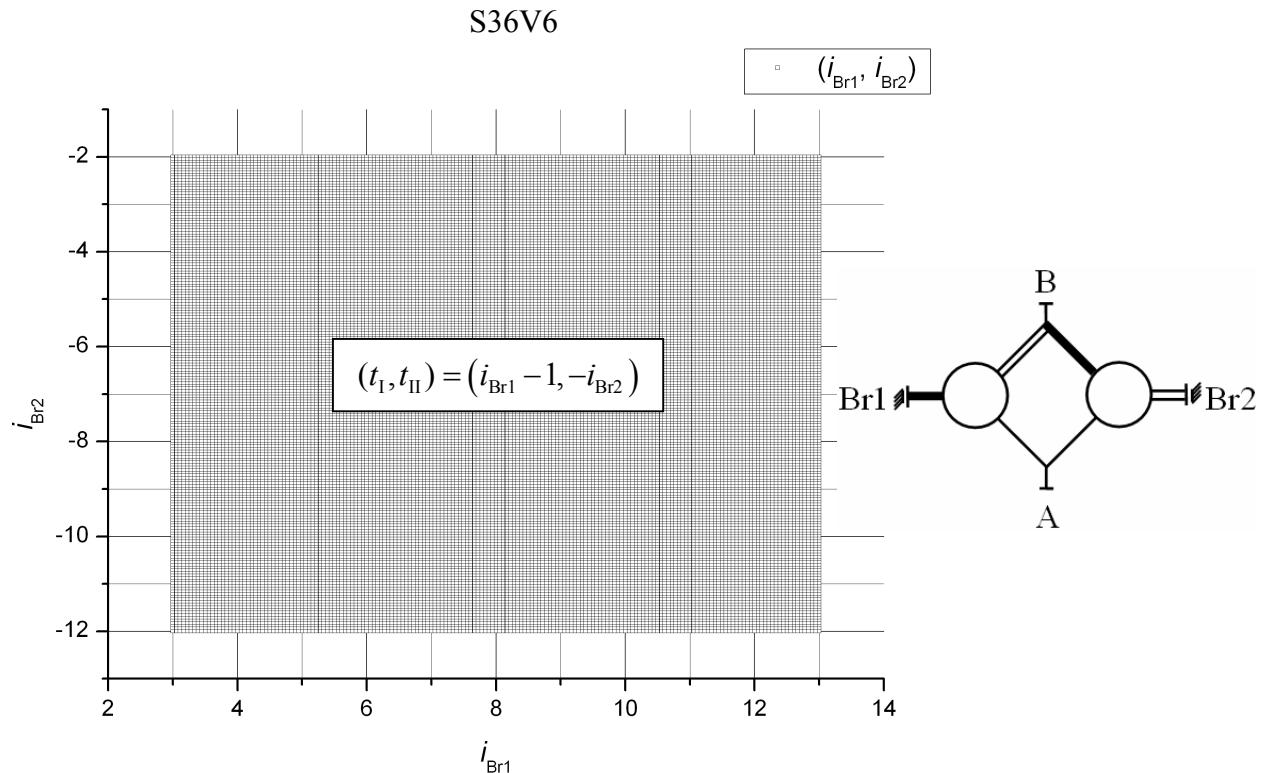


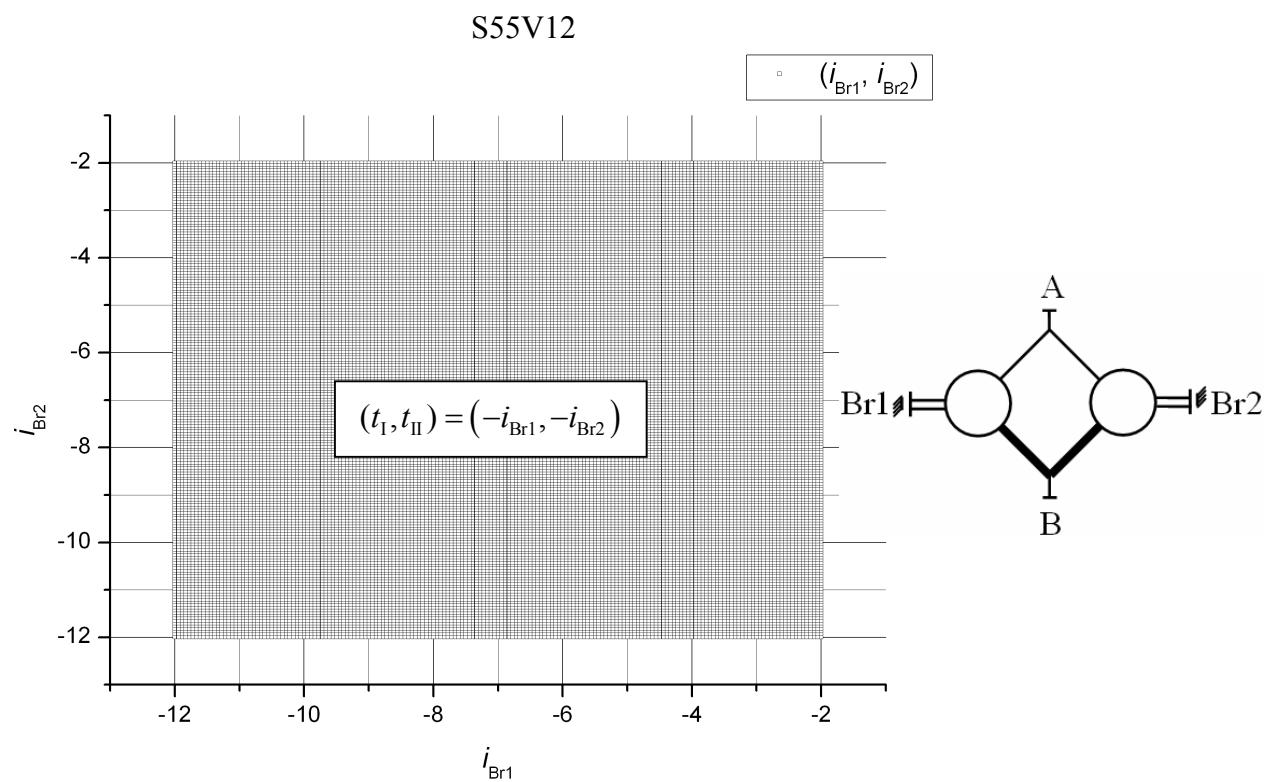
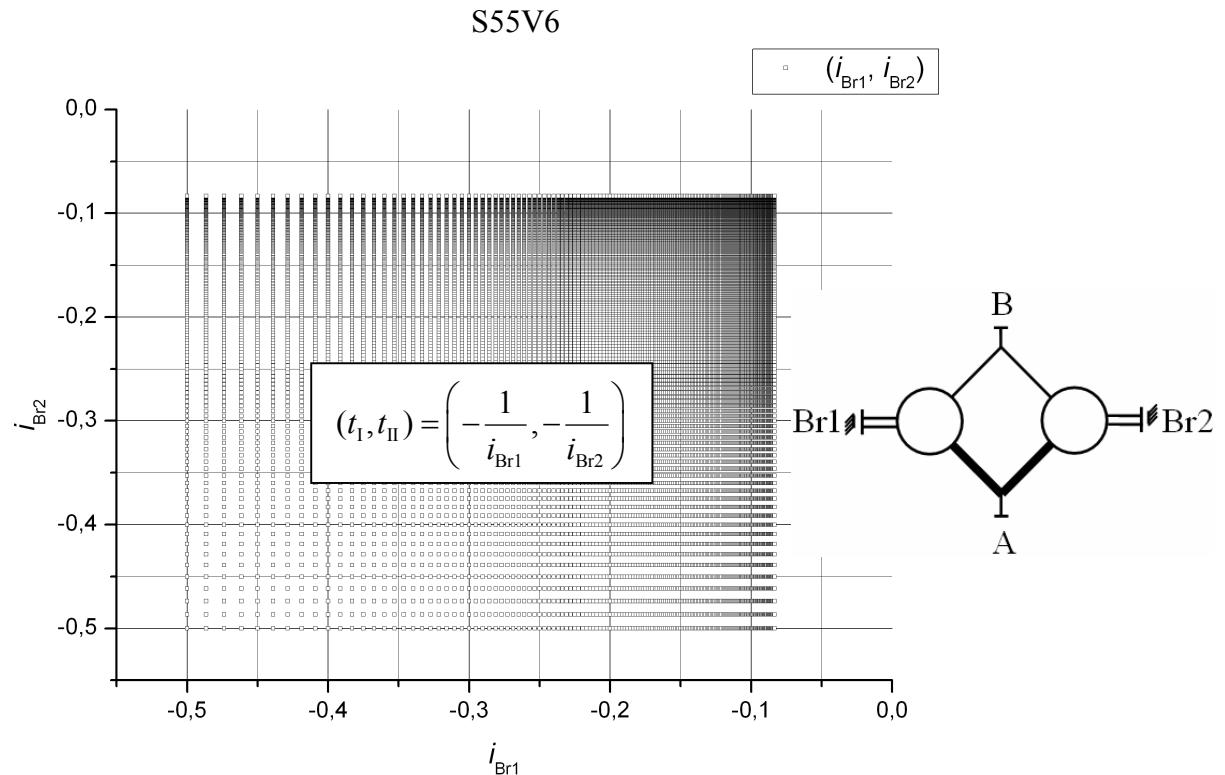


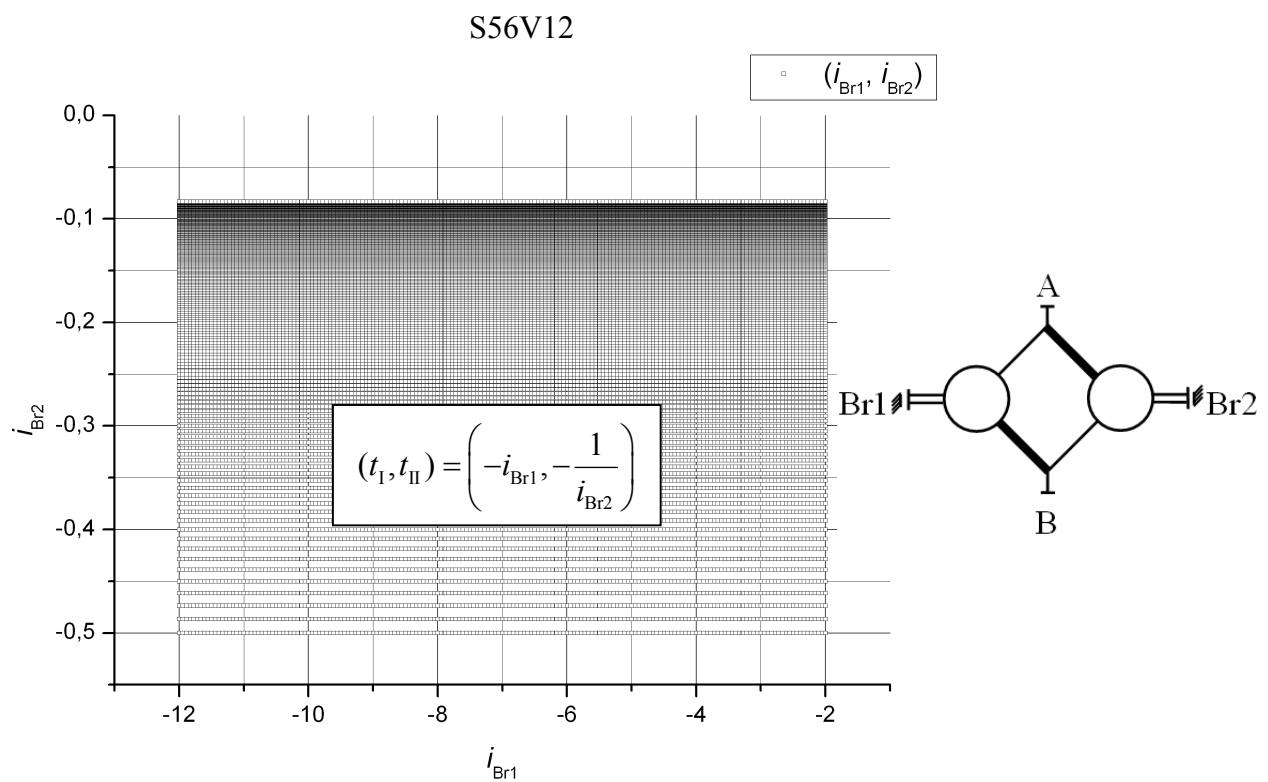
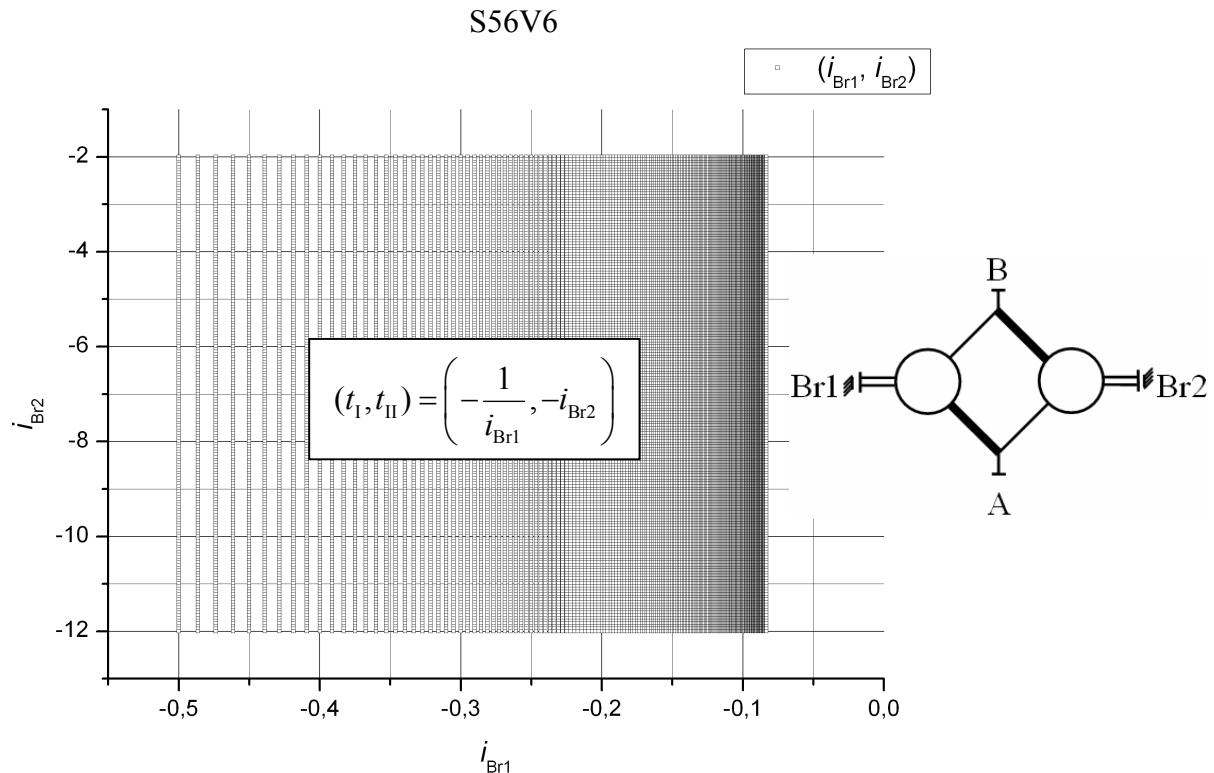




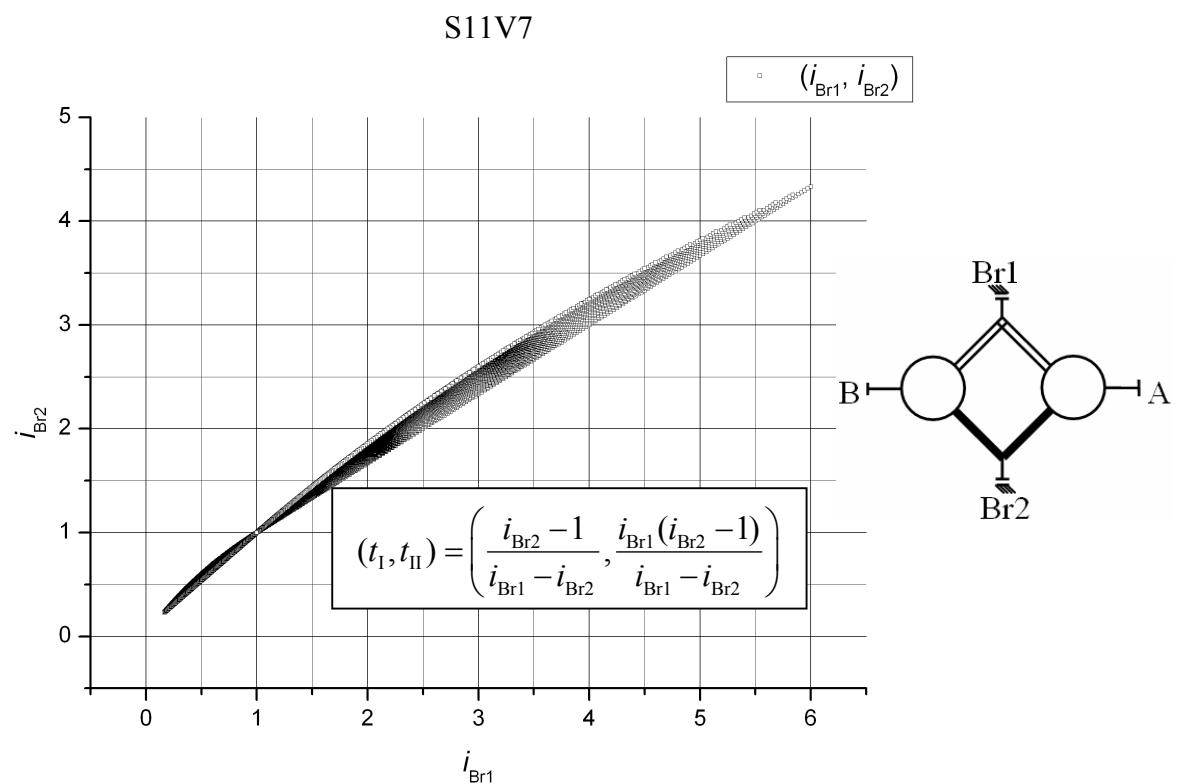
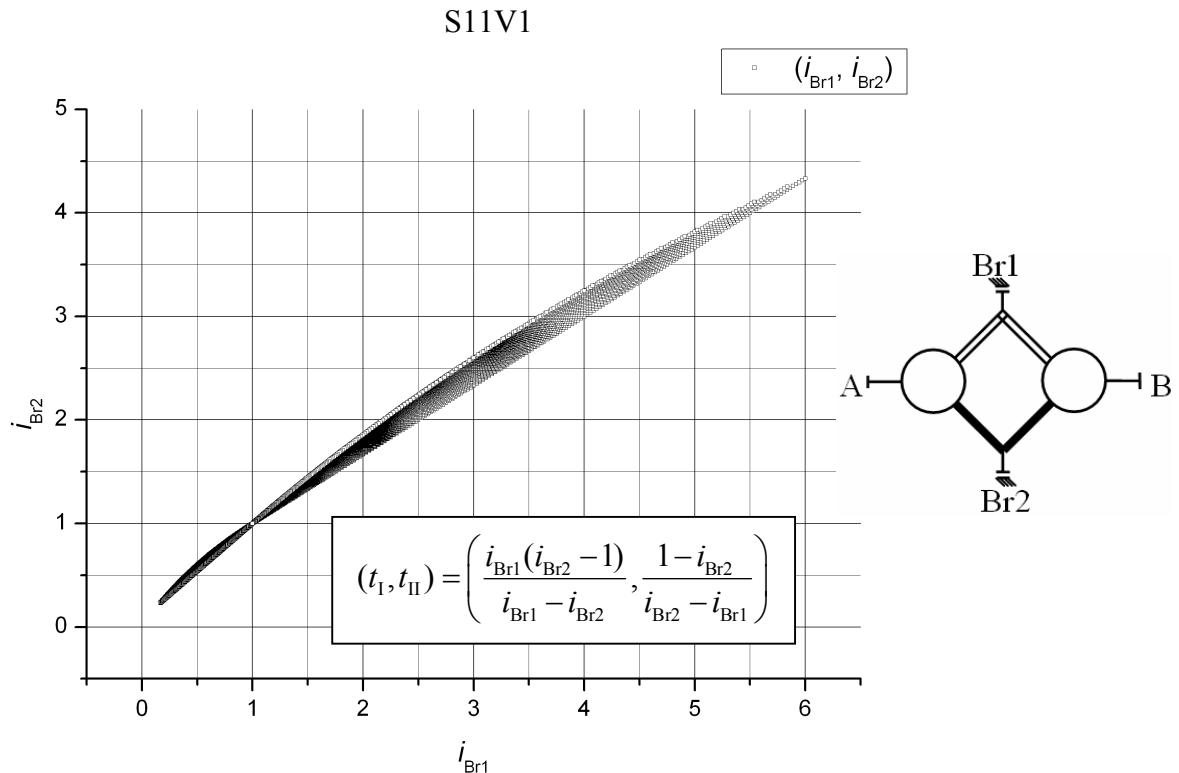


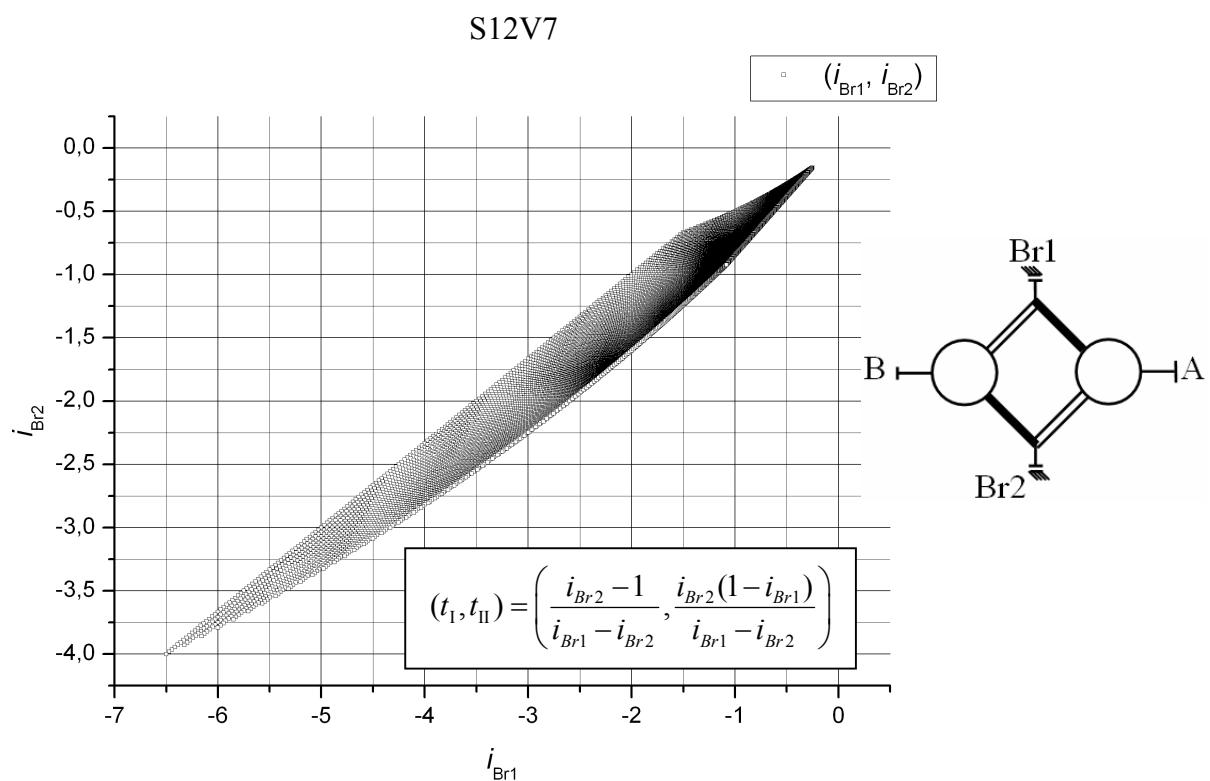
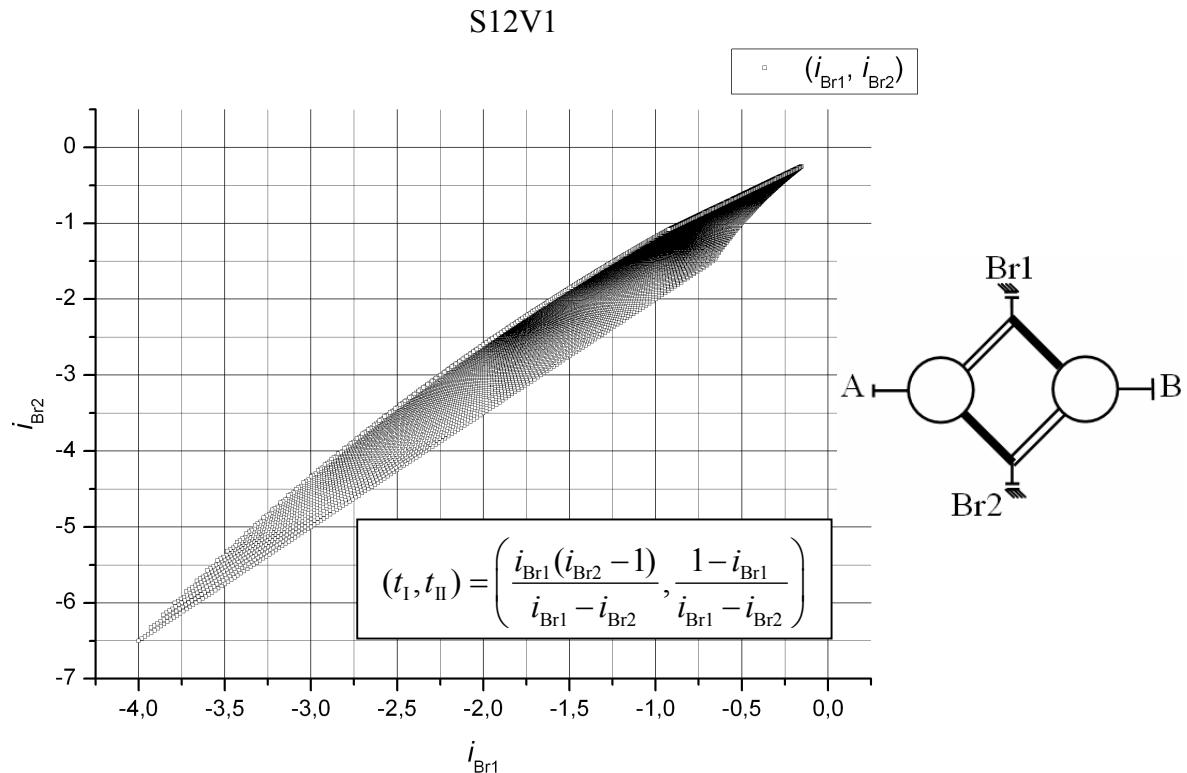


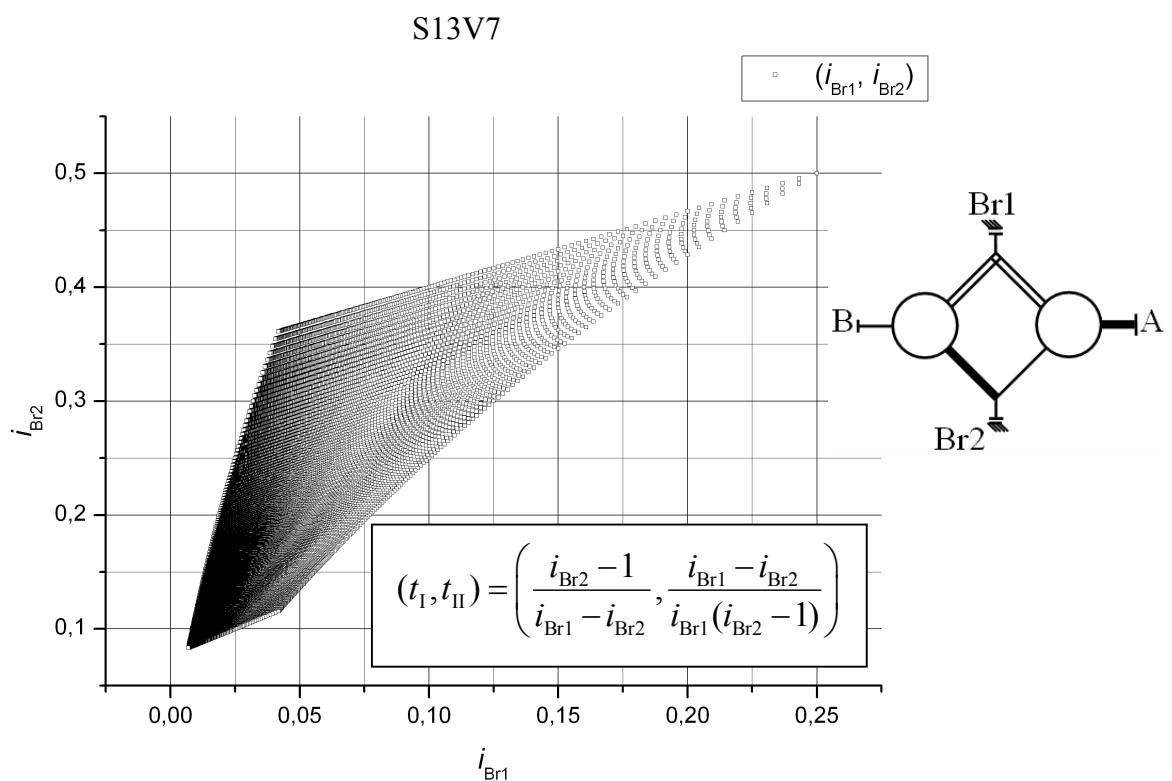
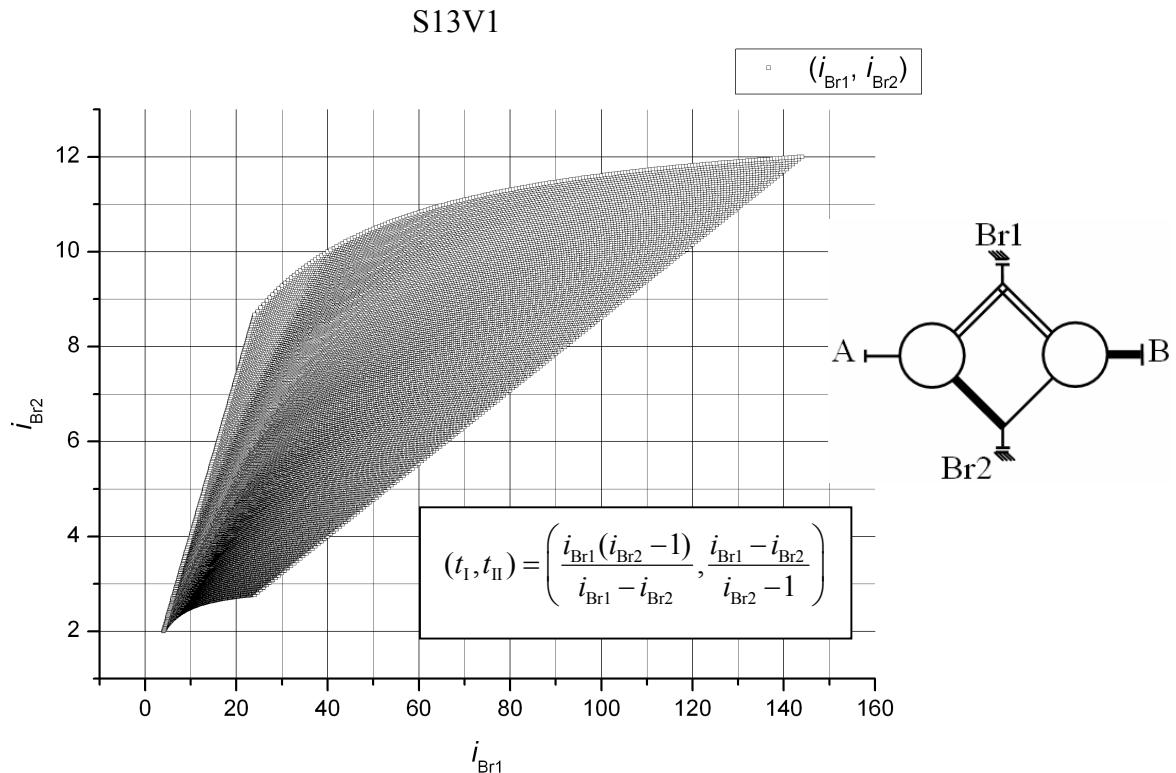


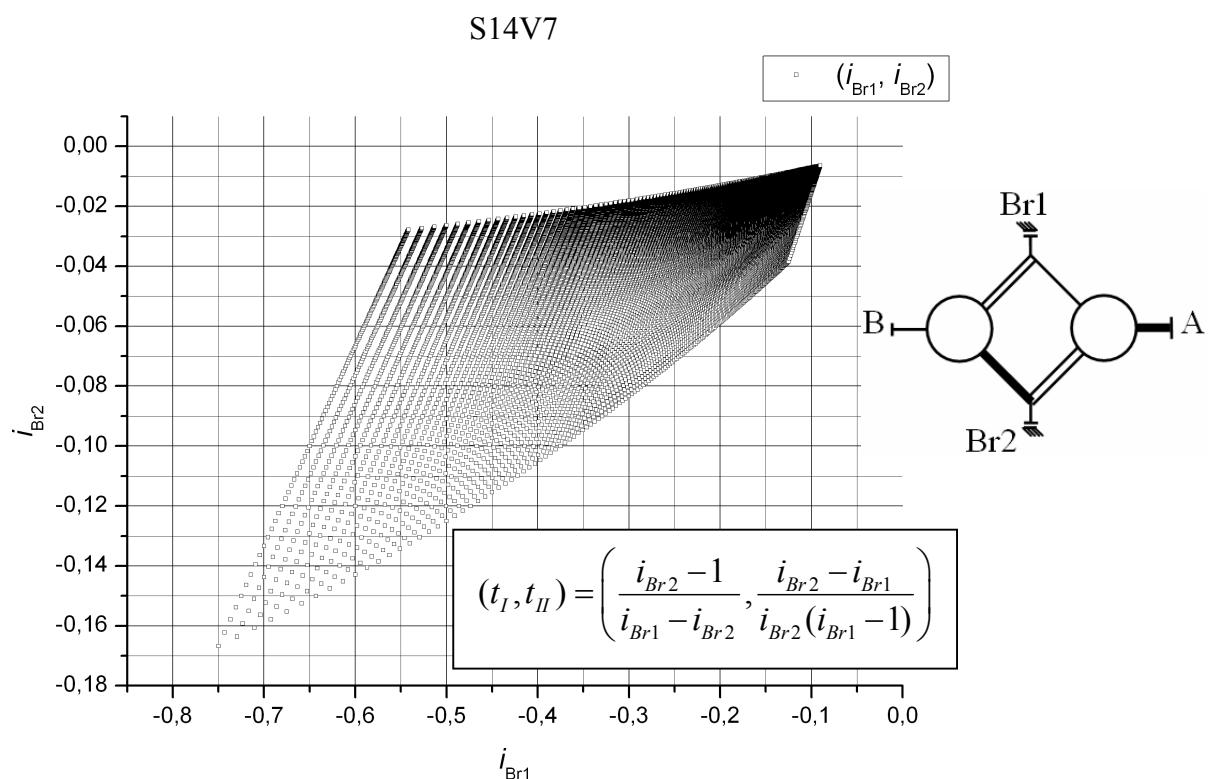
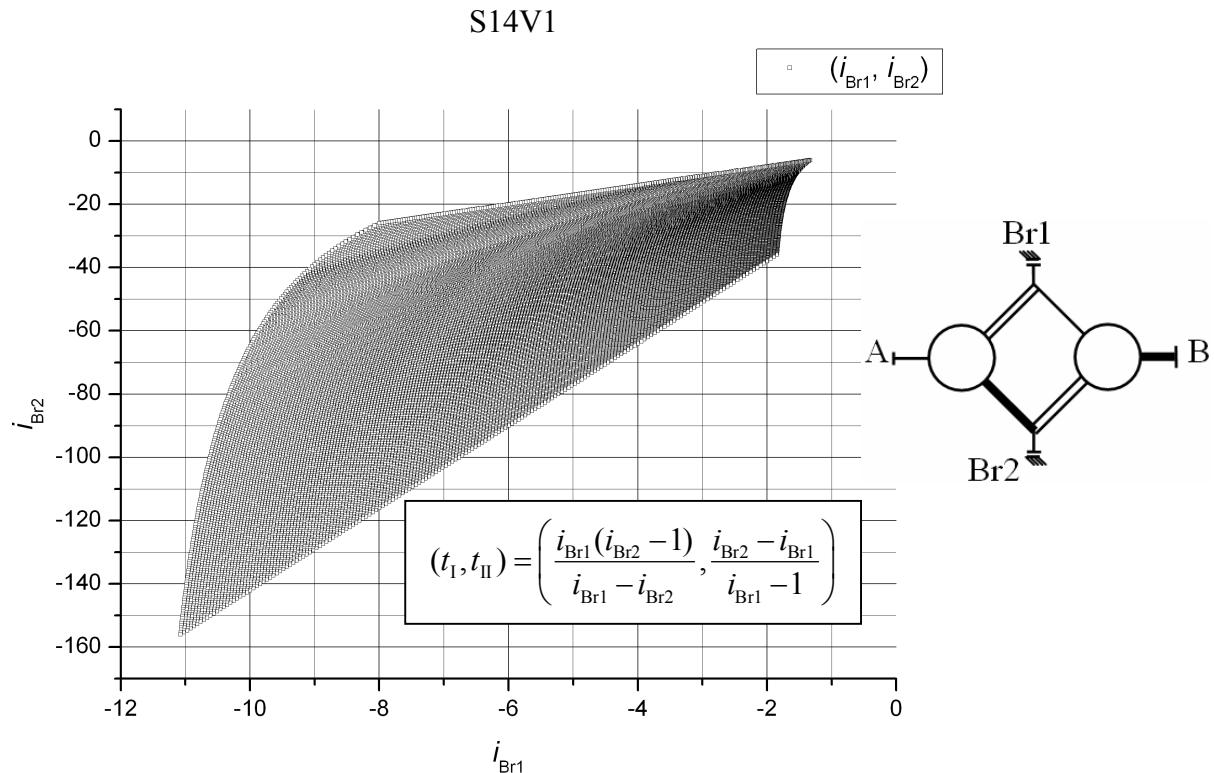


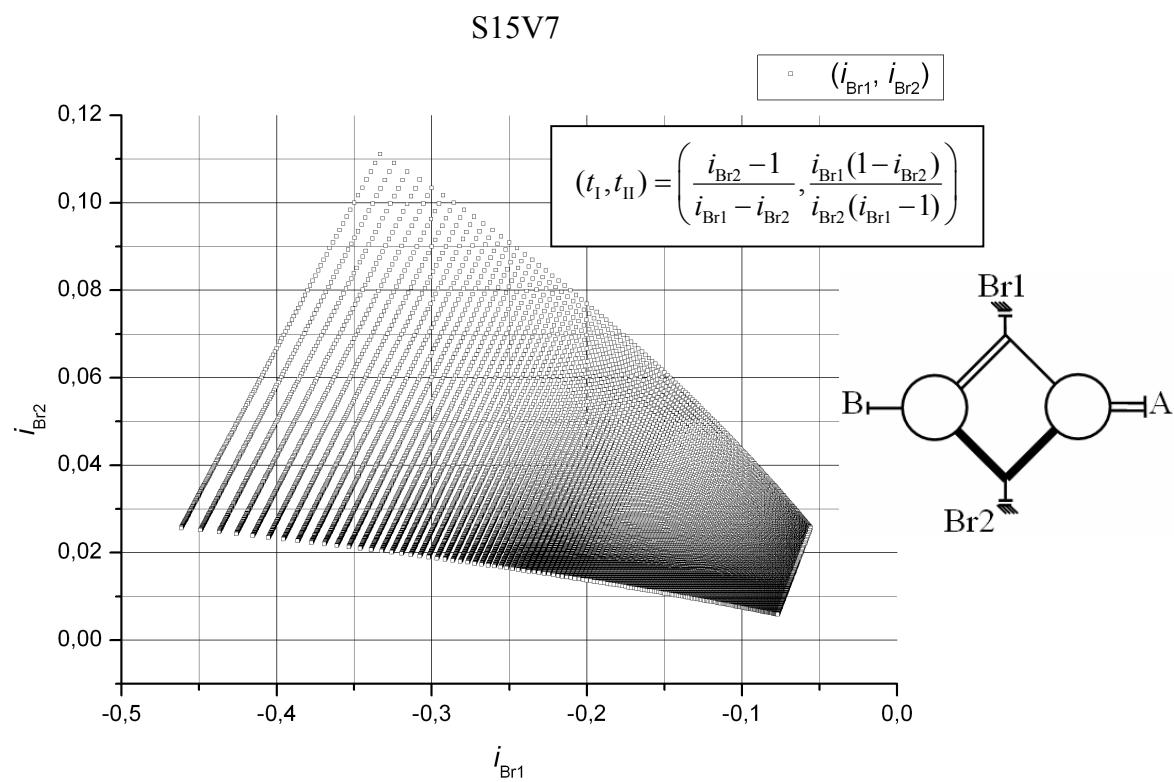
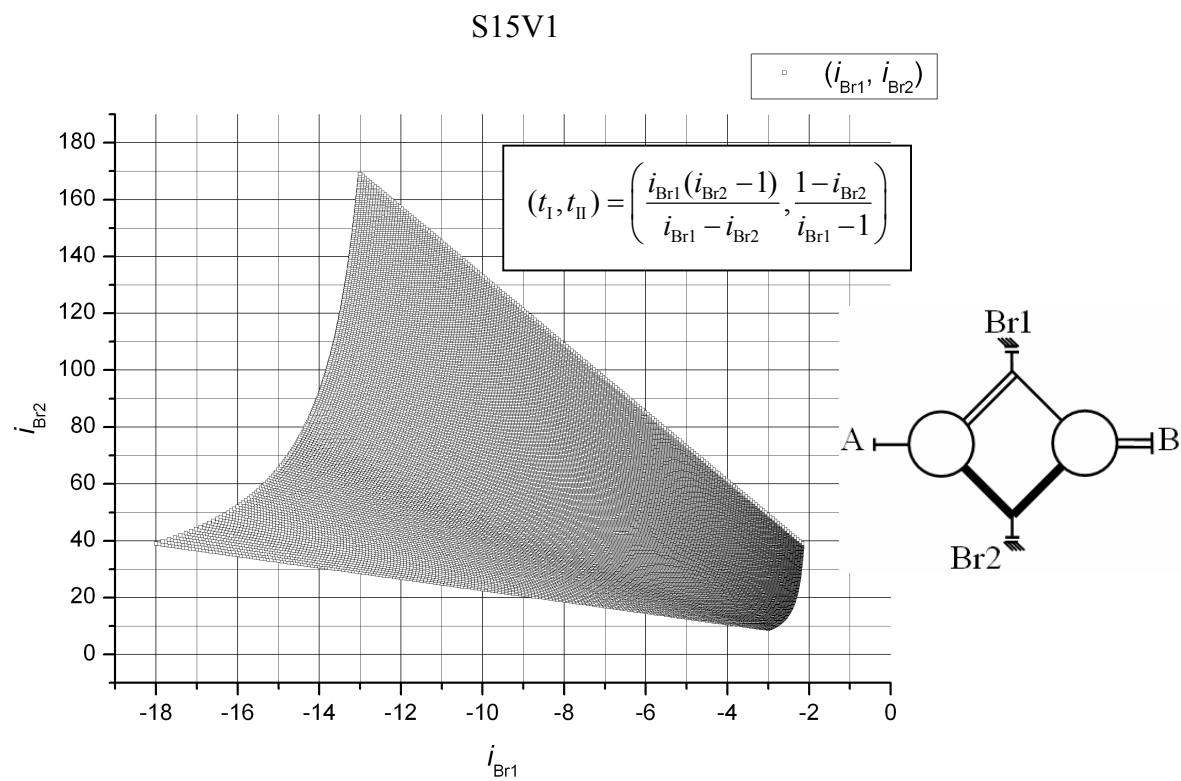
**Mjenjačke mogućnosti pretvarača s kočnicama raspoređenim na spojnim vratilima**

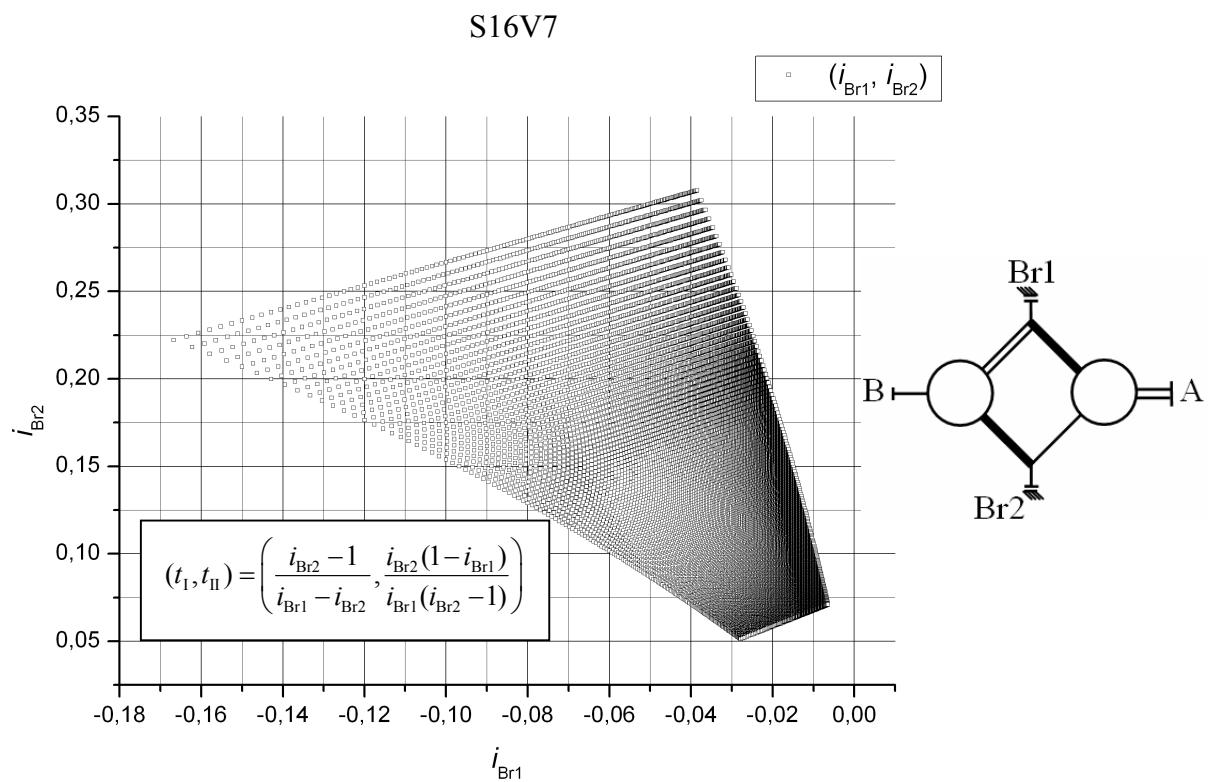
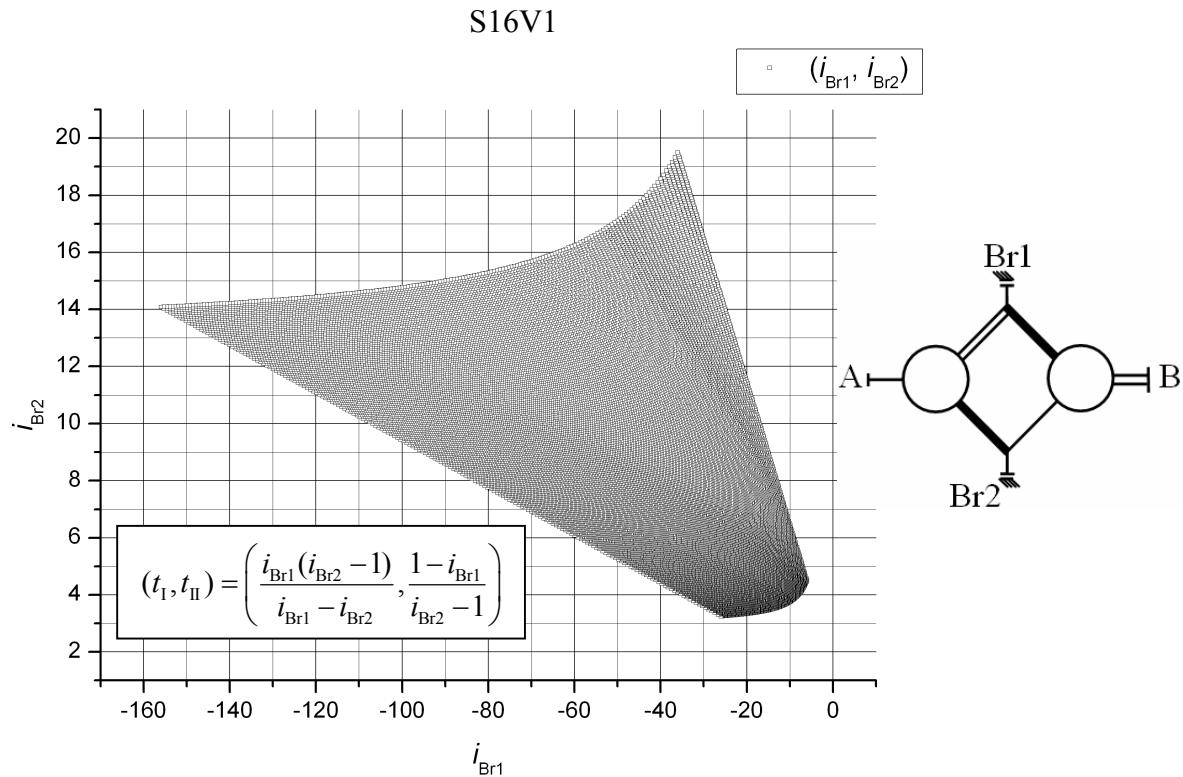


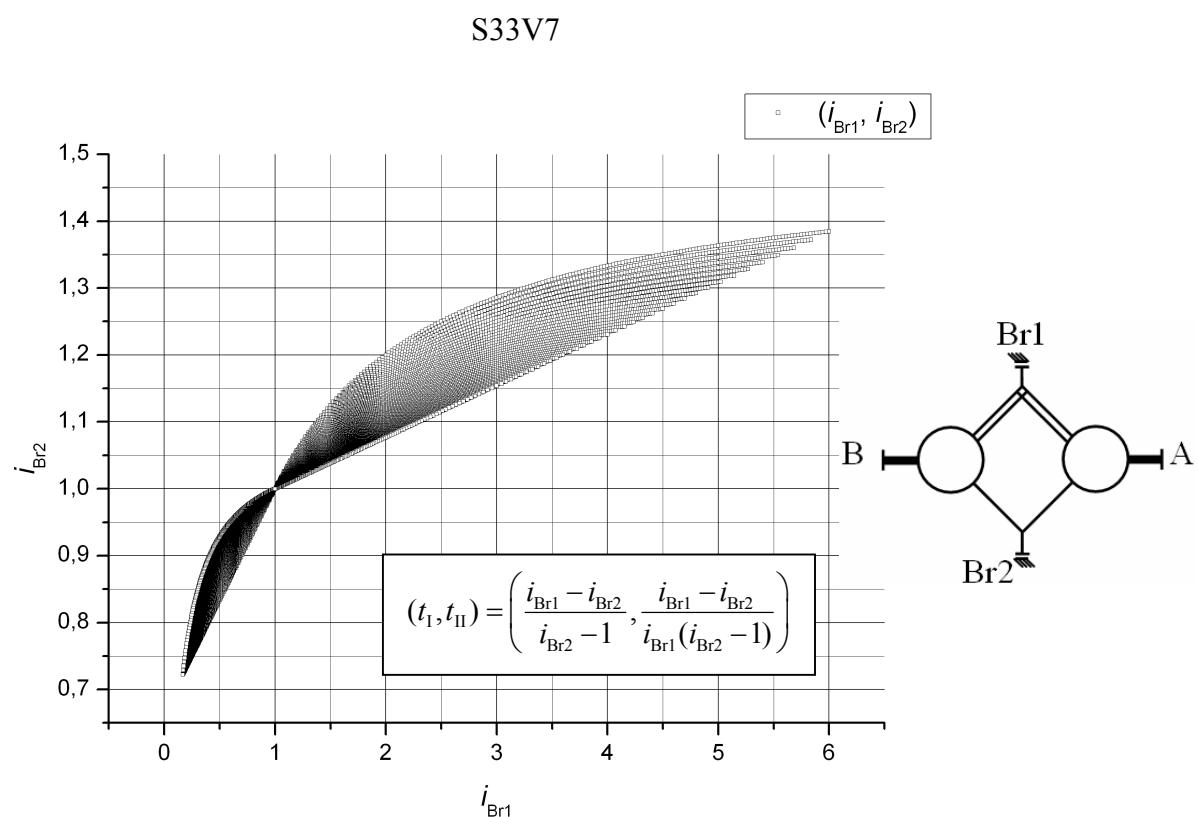
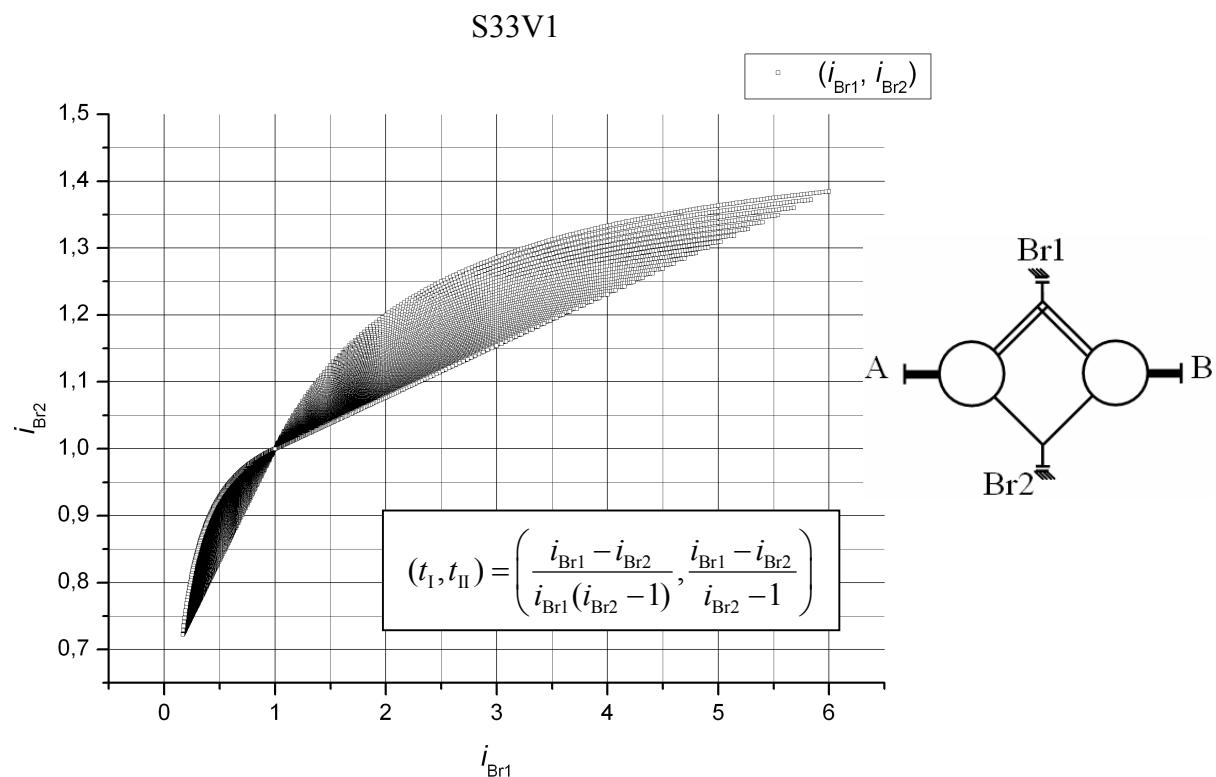


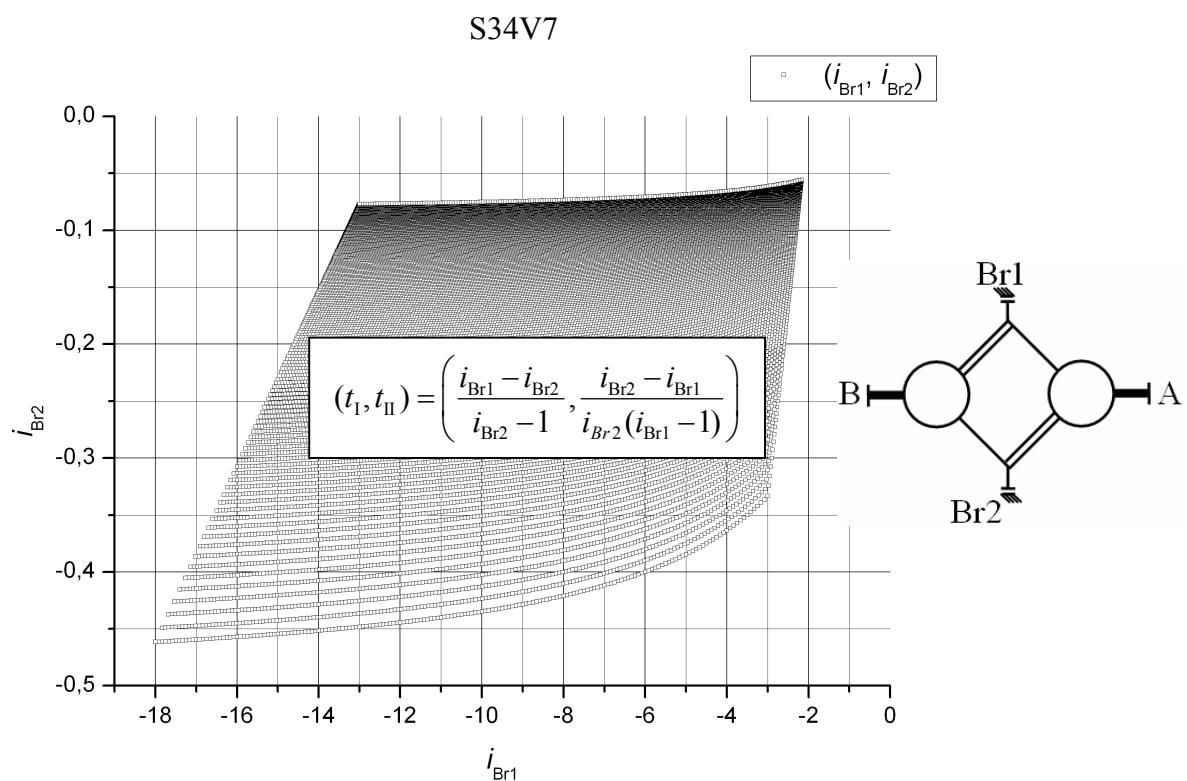
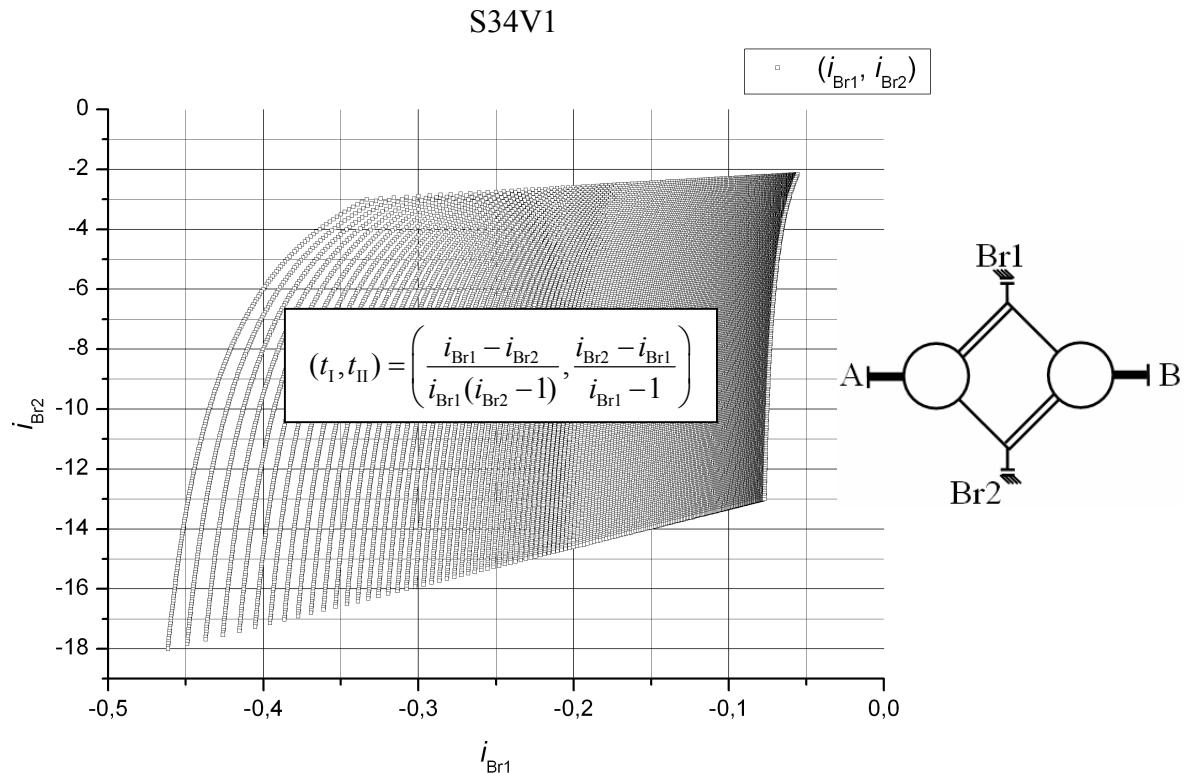


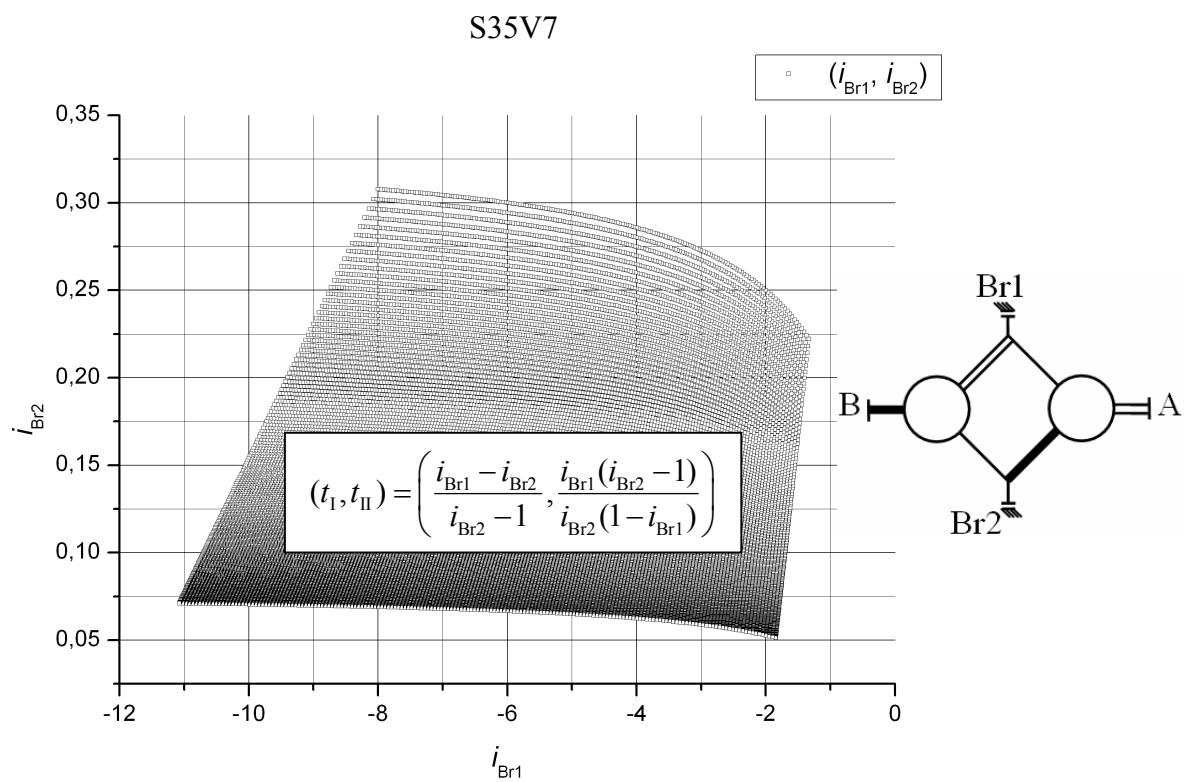
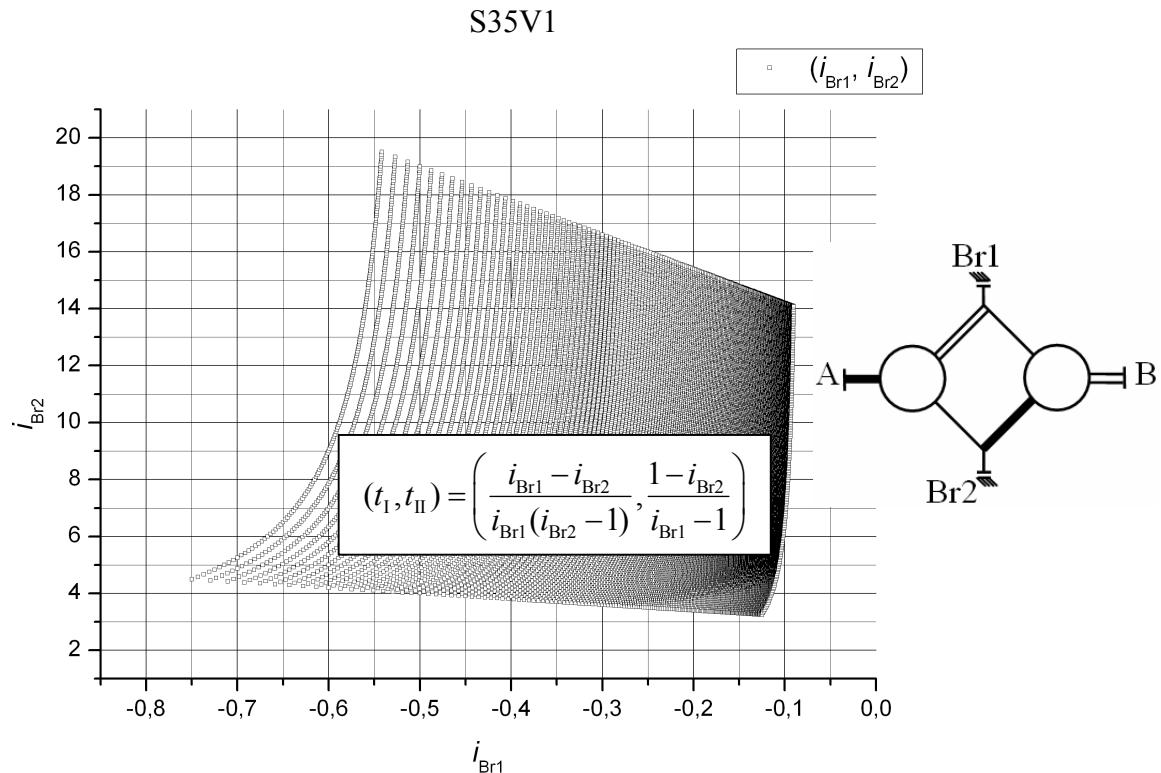


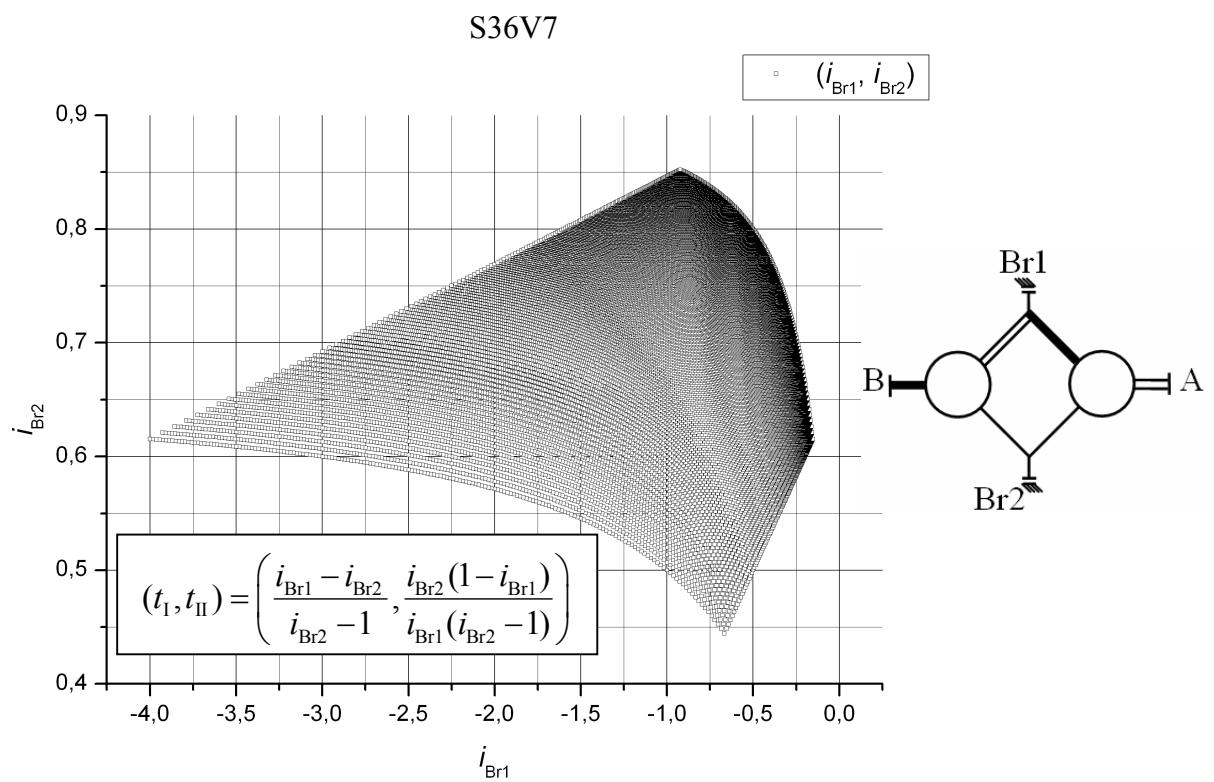
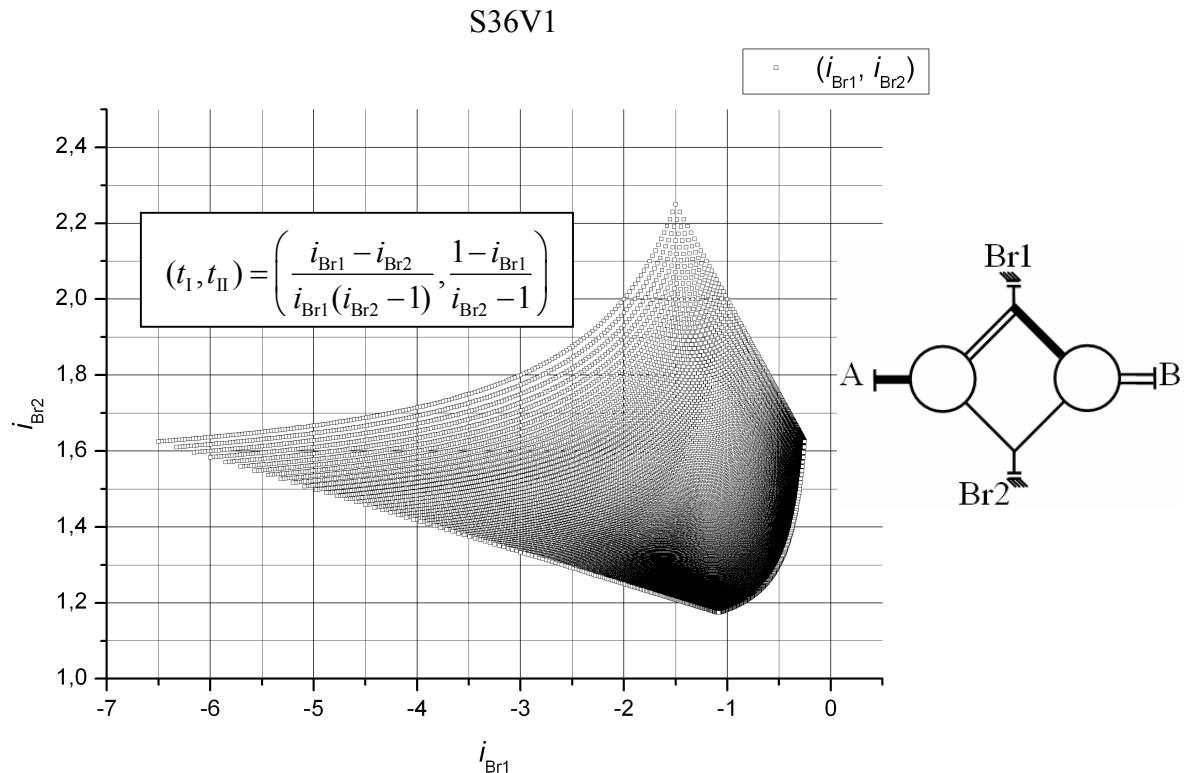


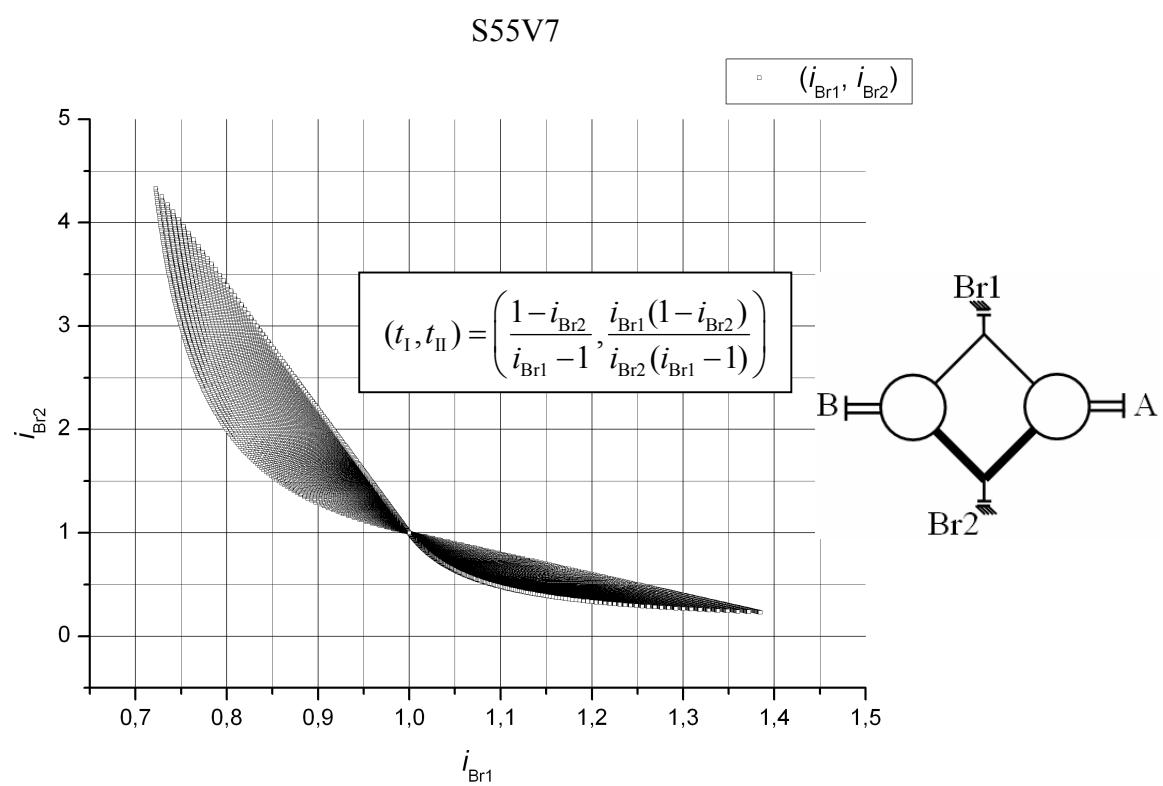
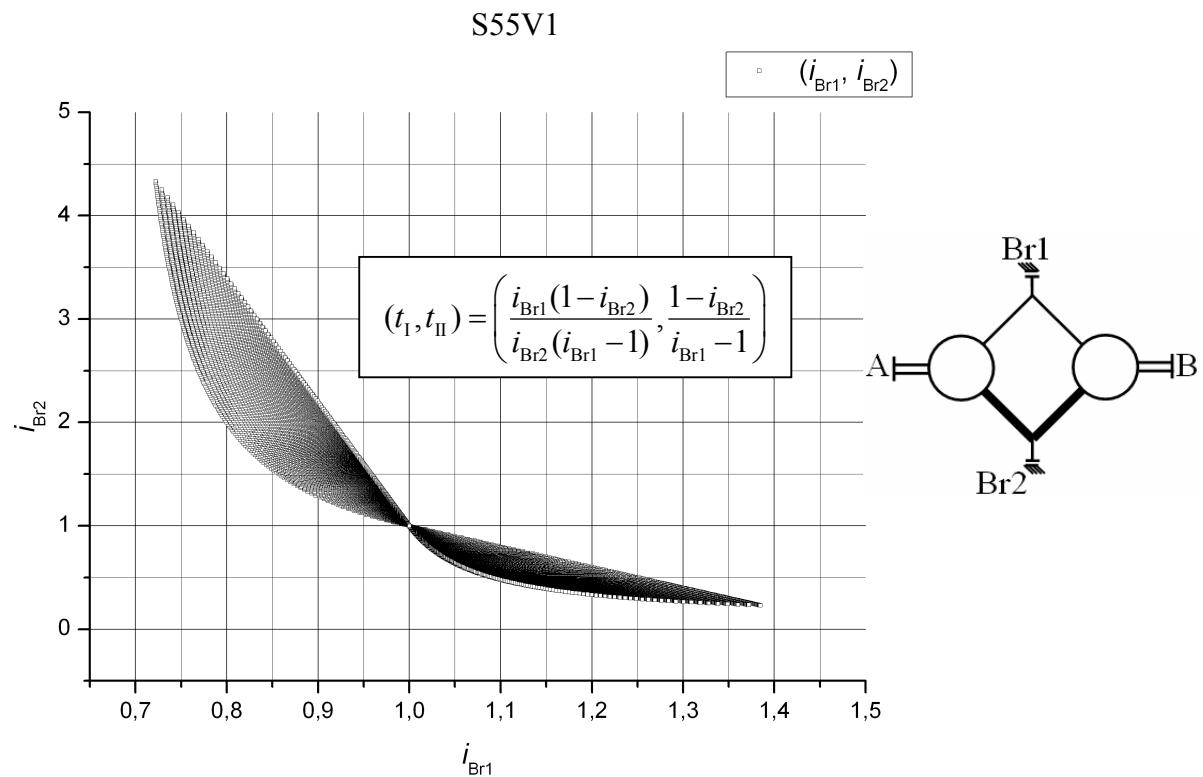


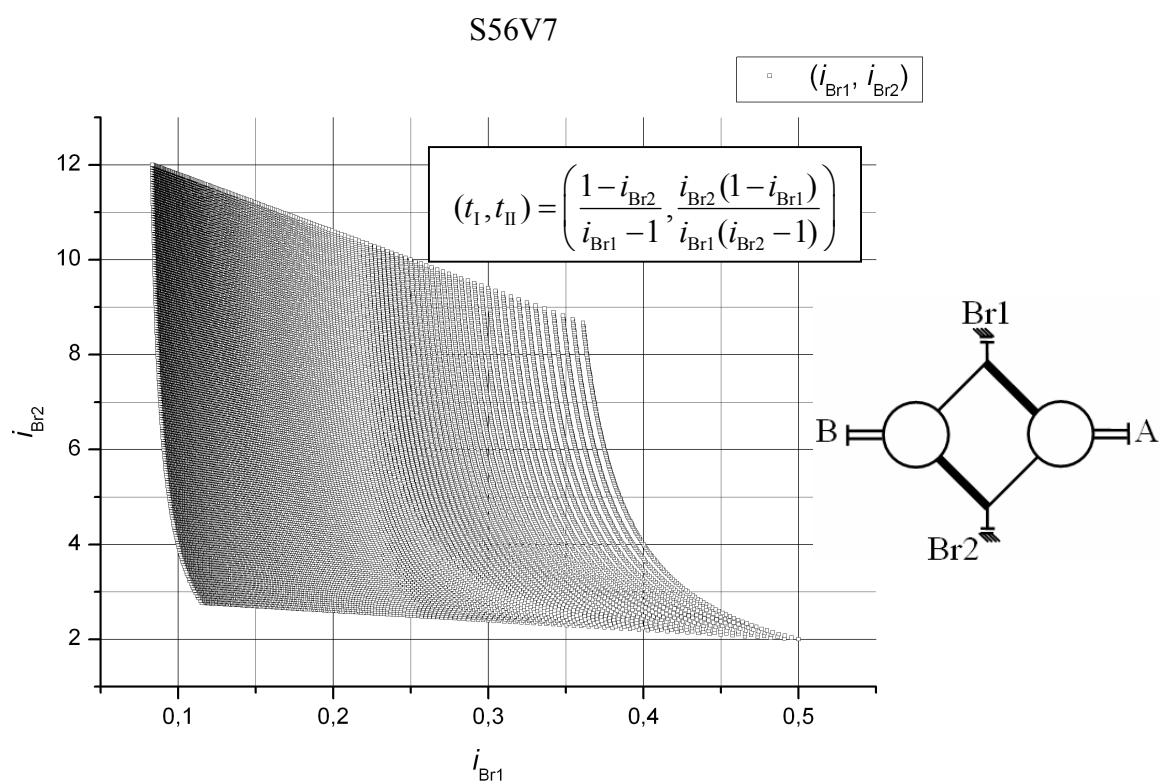
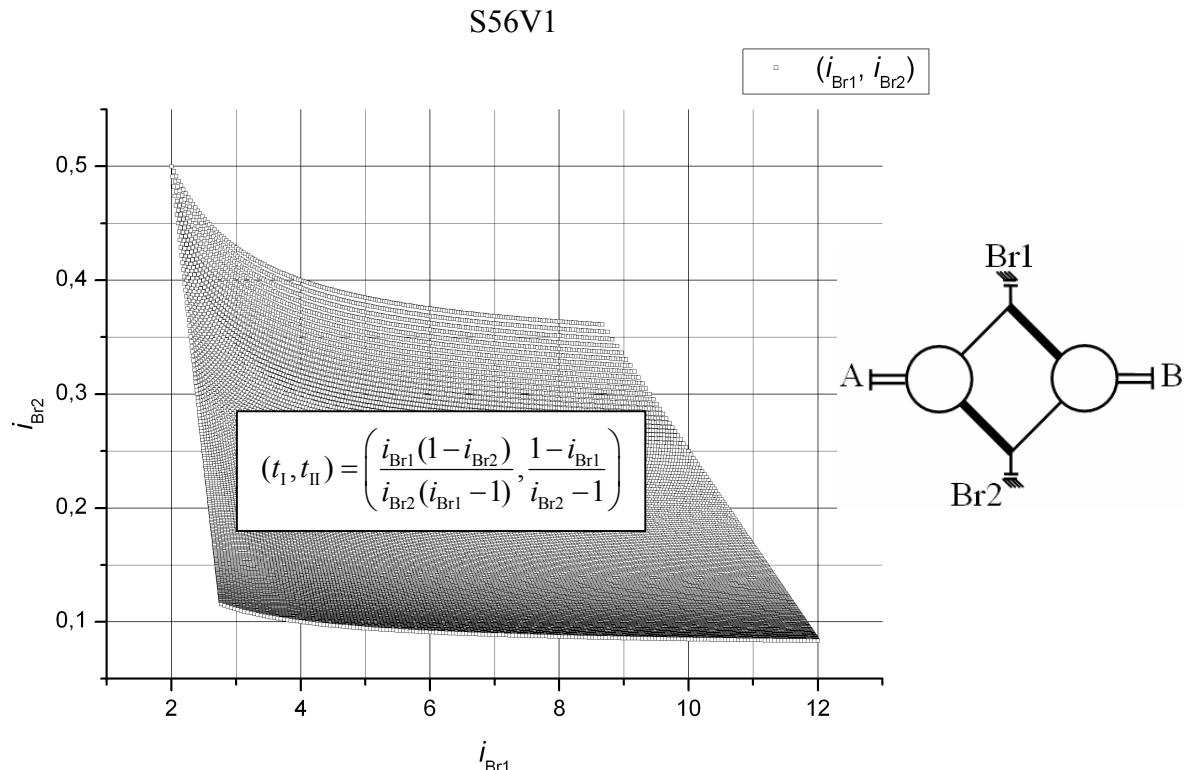






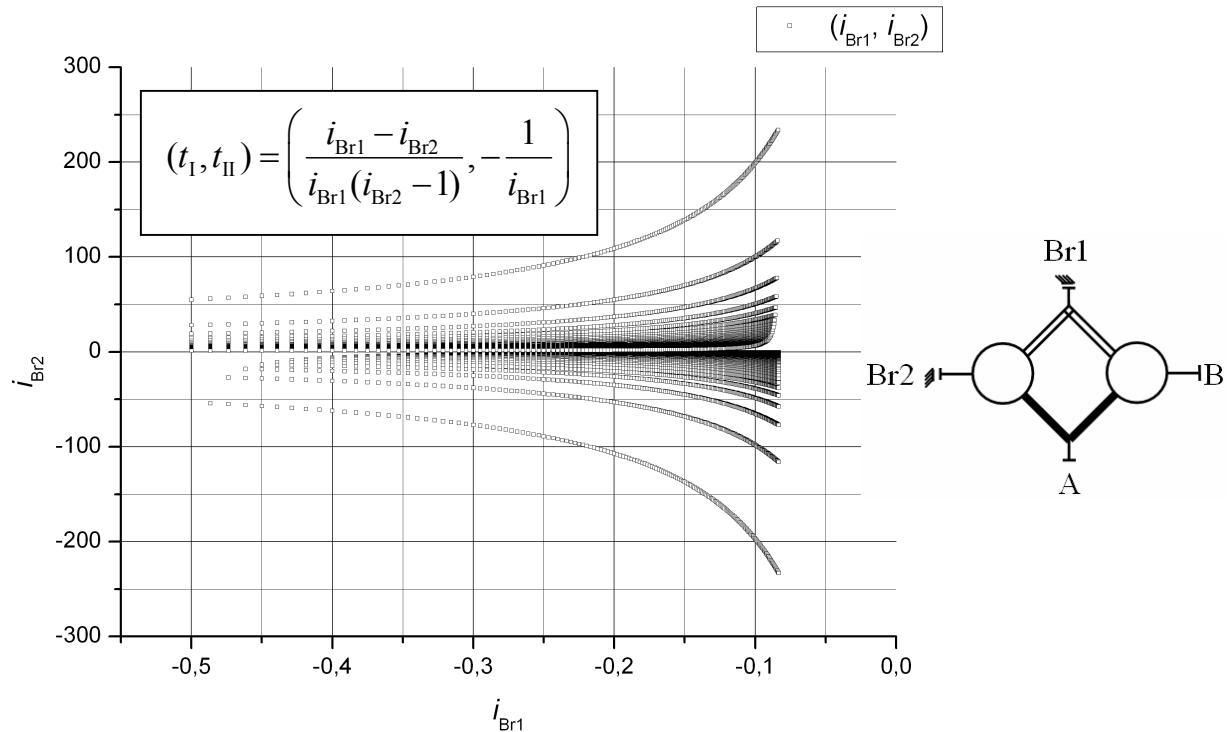




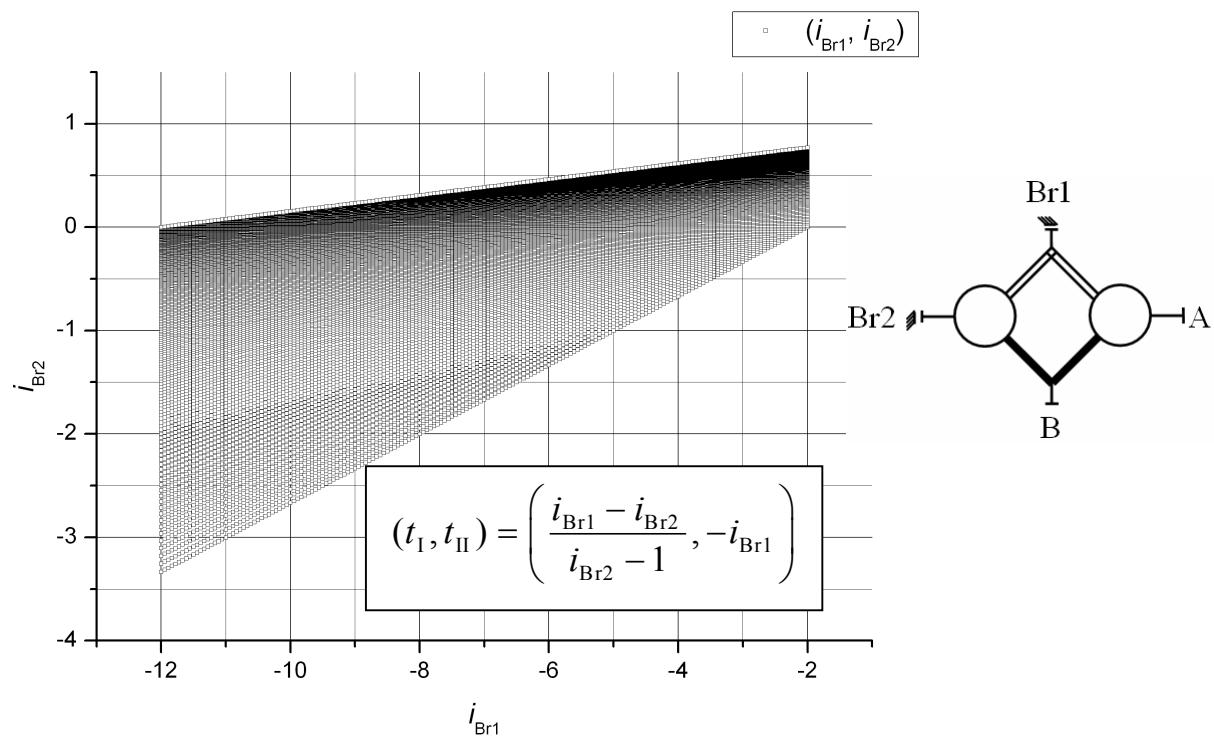


**Mjenjačke mogućnosti pretvarača s kočenicama raspoređenim na spojnom i zasebnom vratilu**

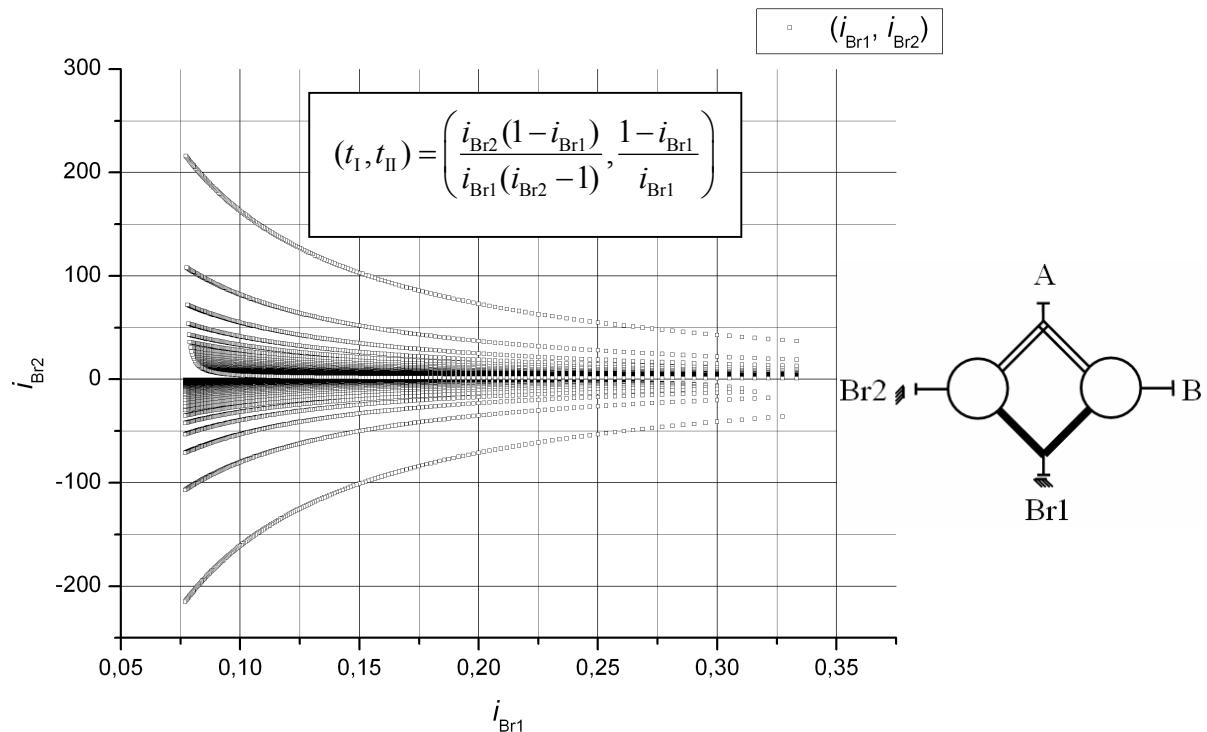
S11V4



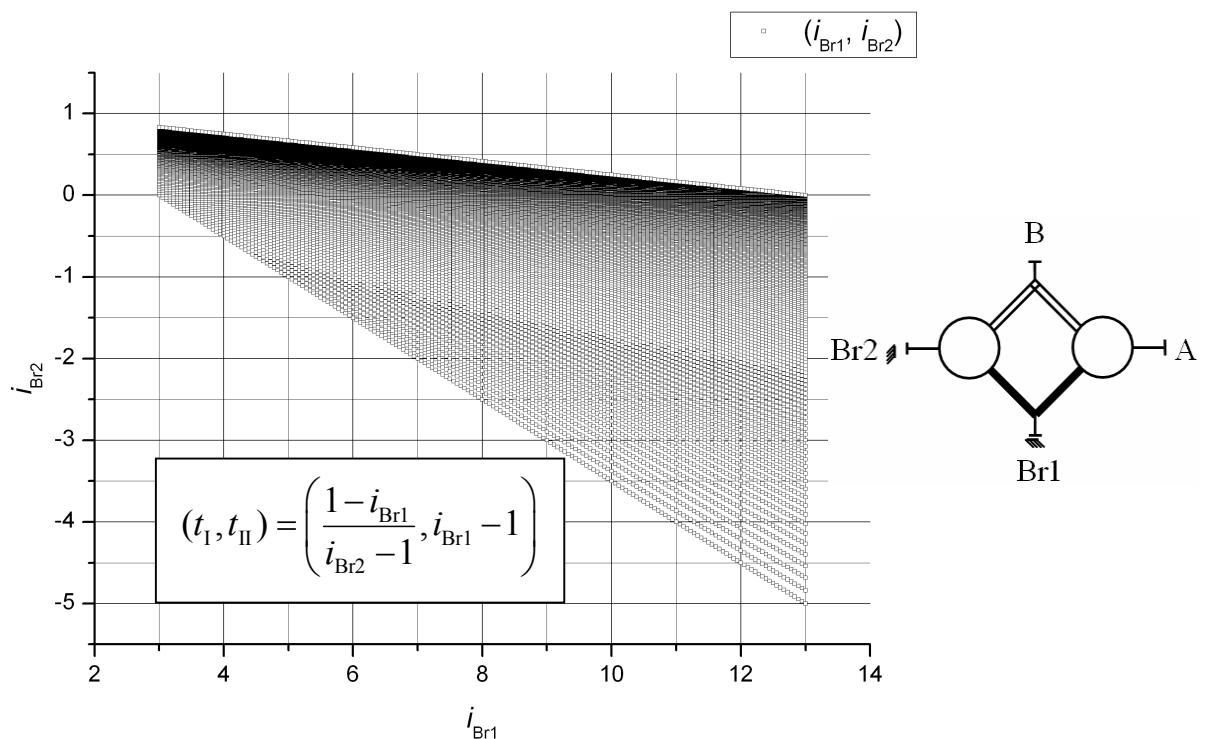
S11V10



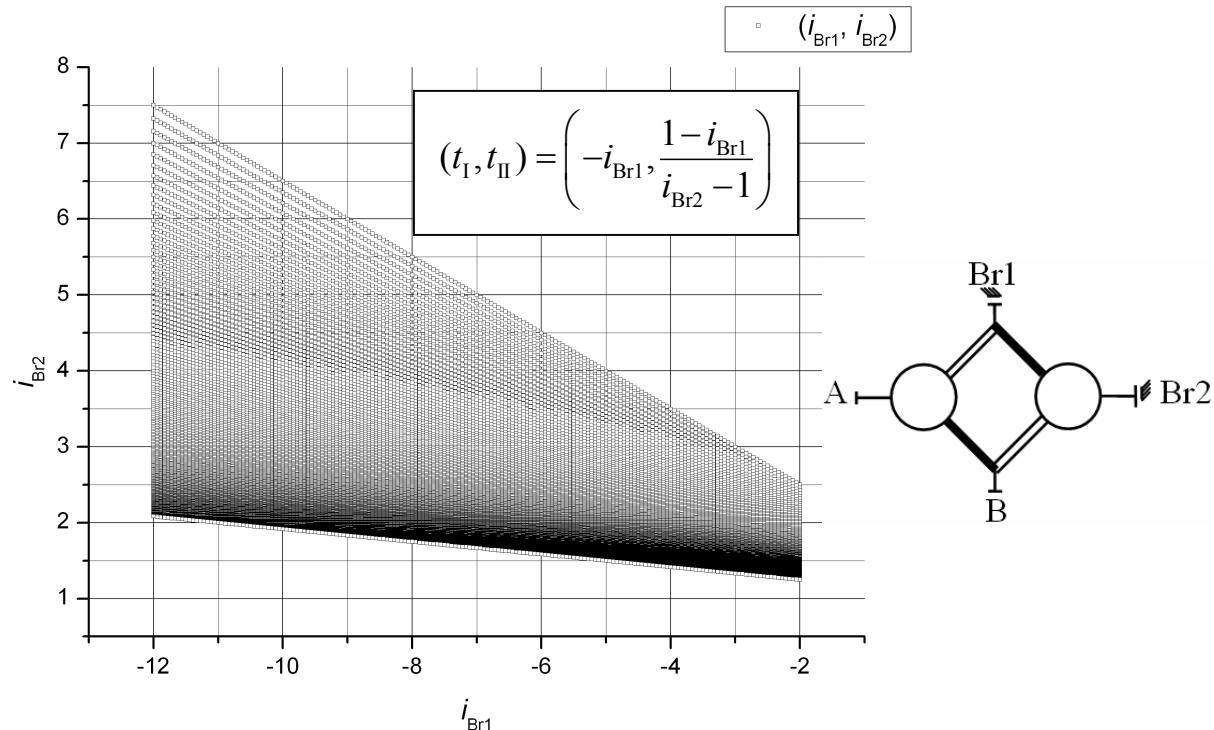
S11V5



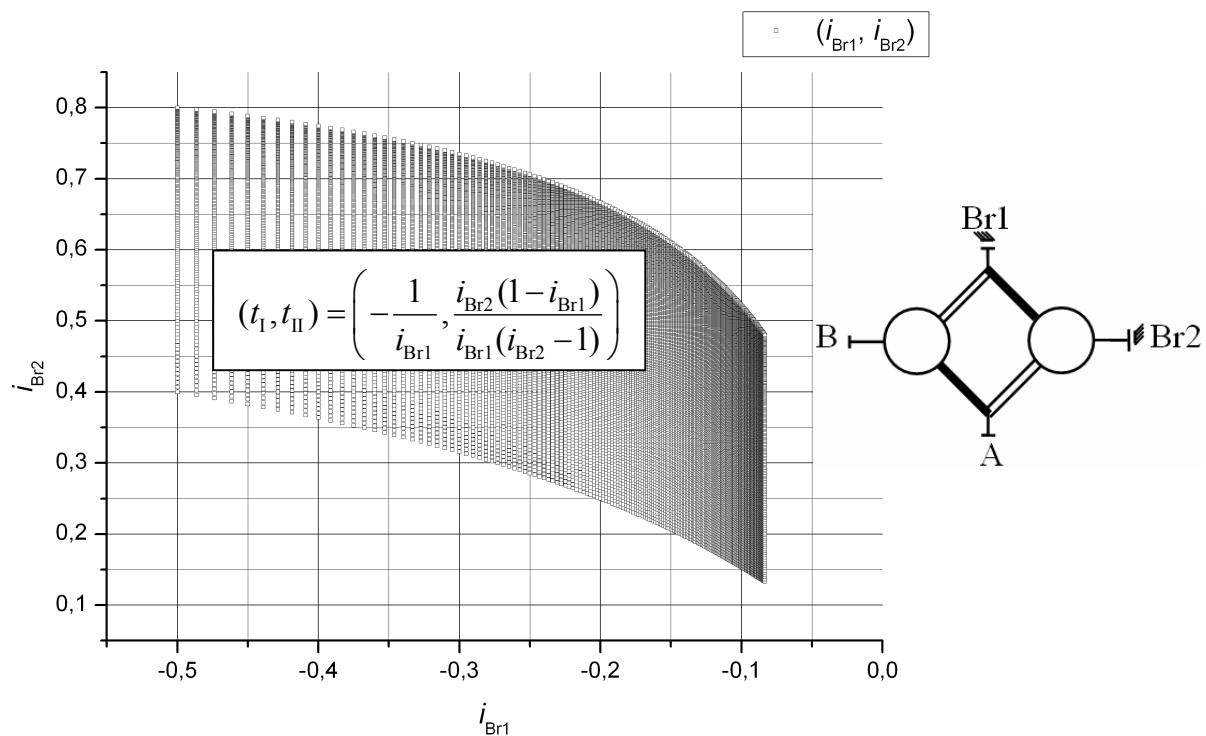
S11V11



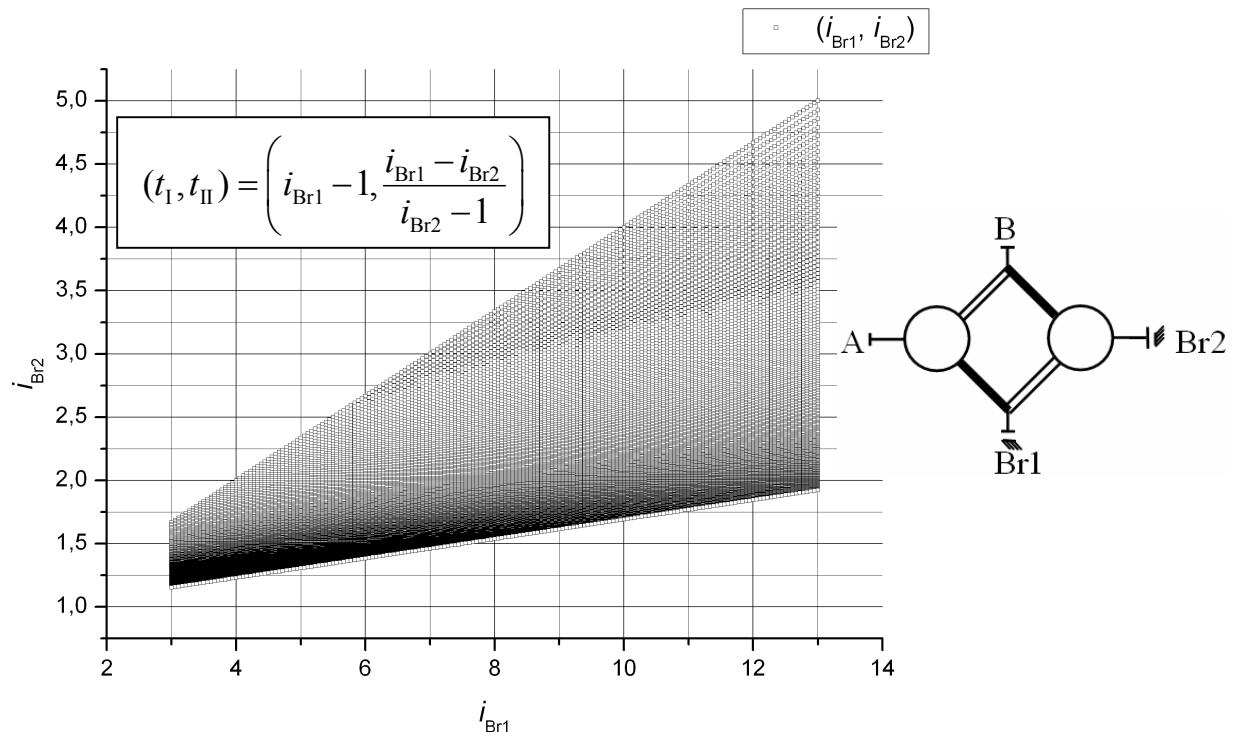
S12V2



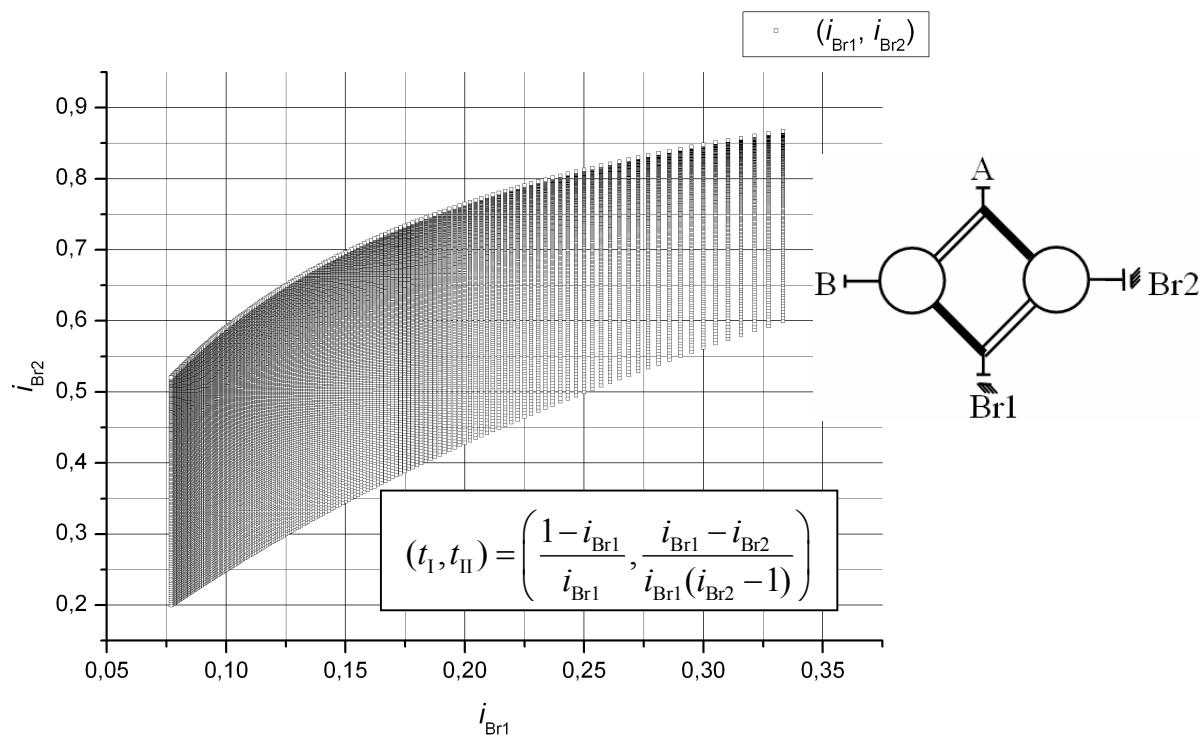
S12V8

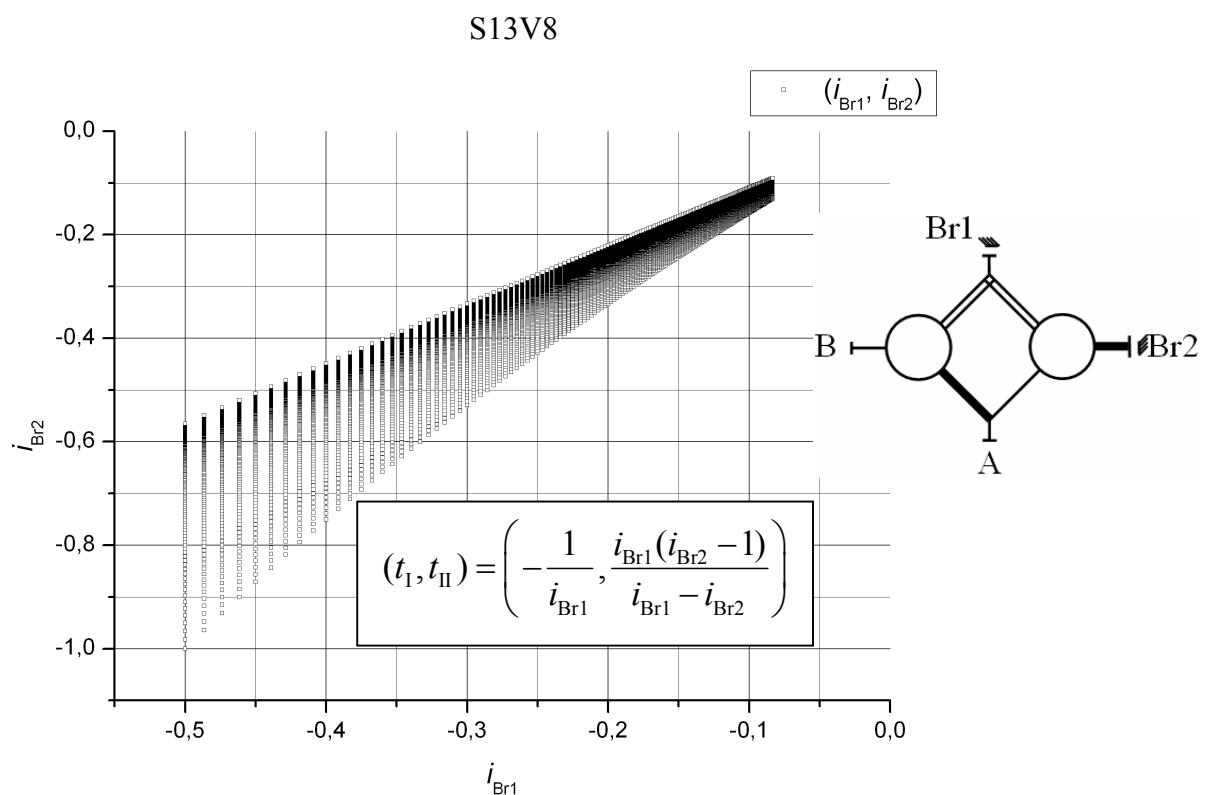
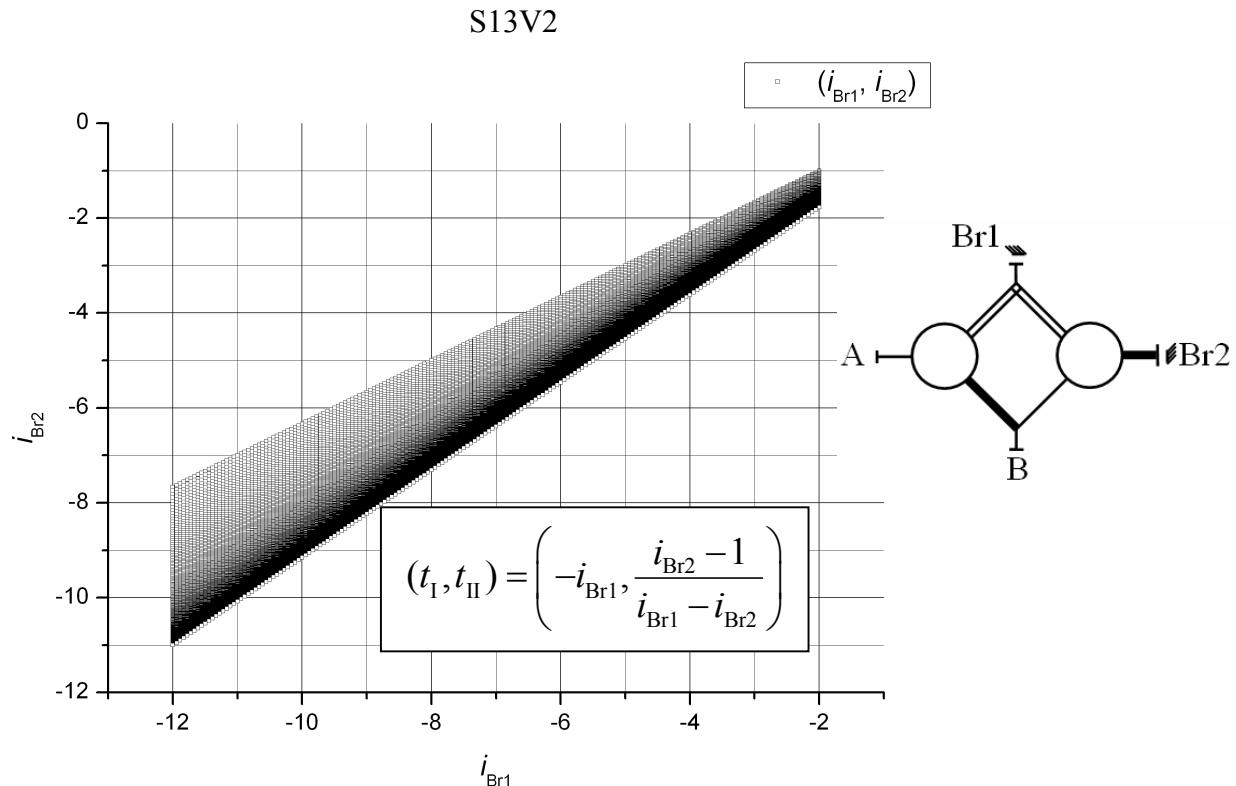


S12V3

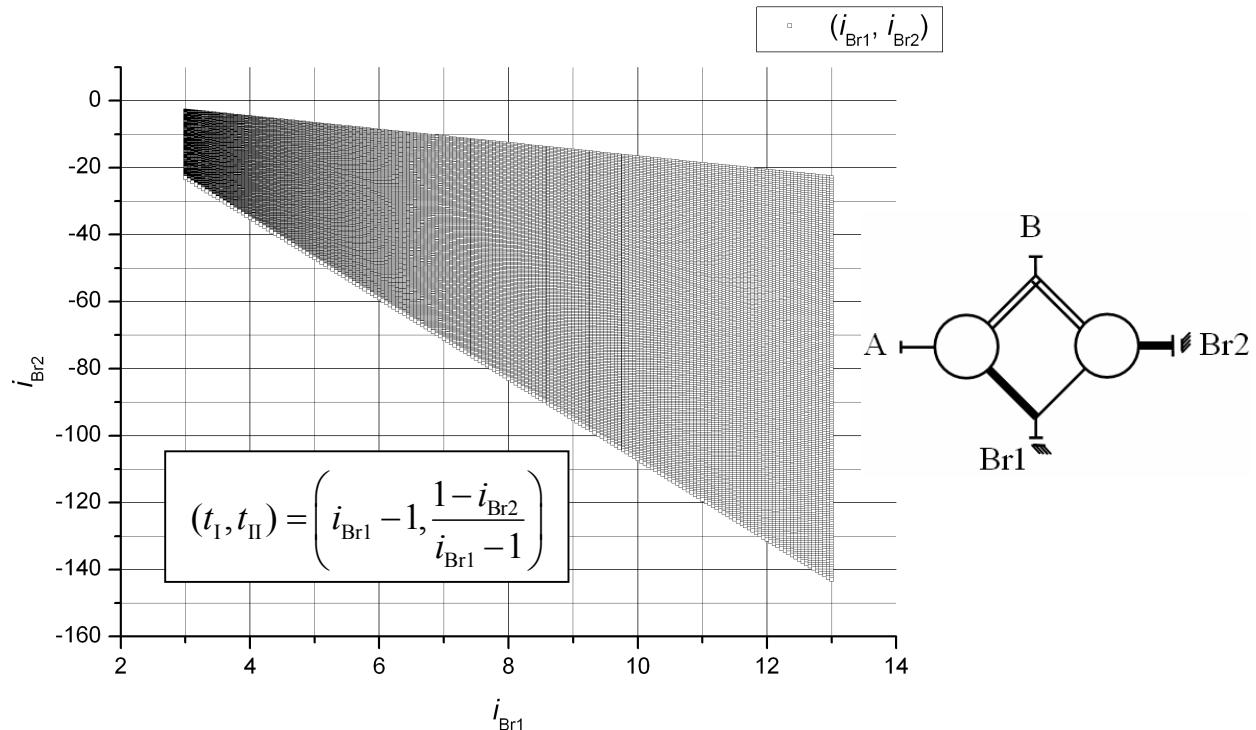


S12V9

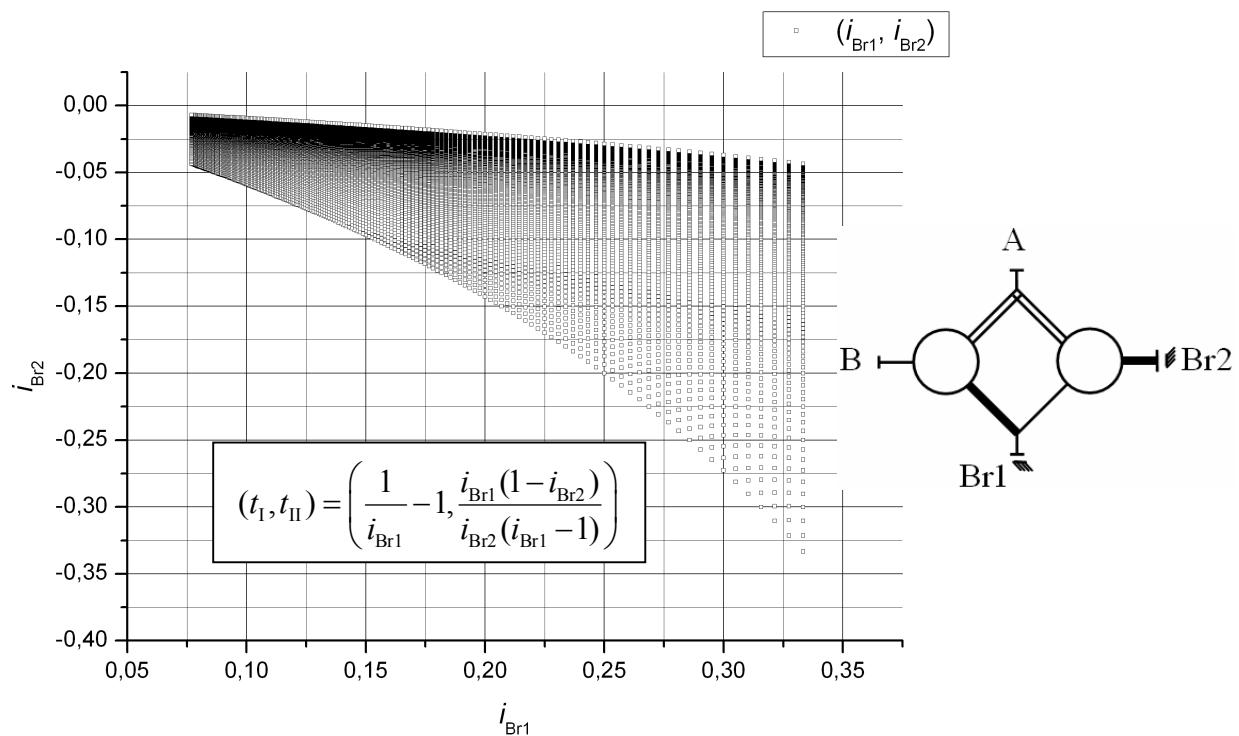




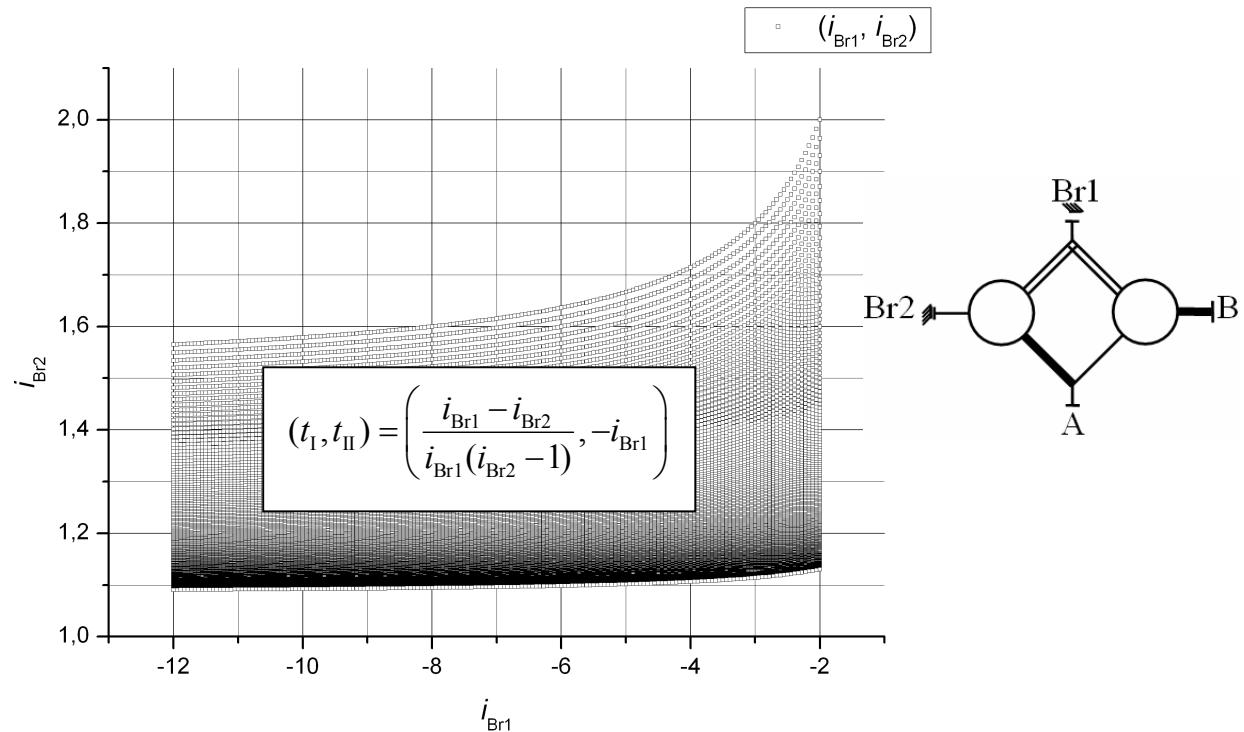
S13V3



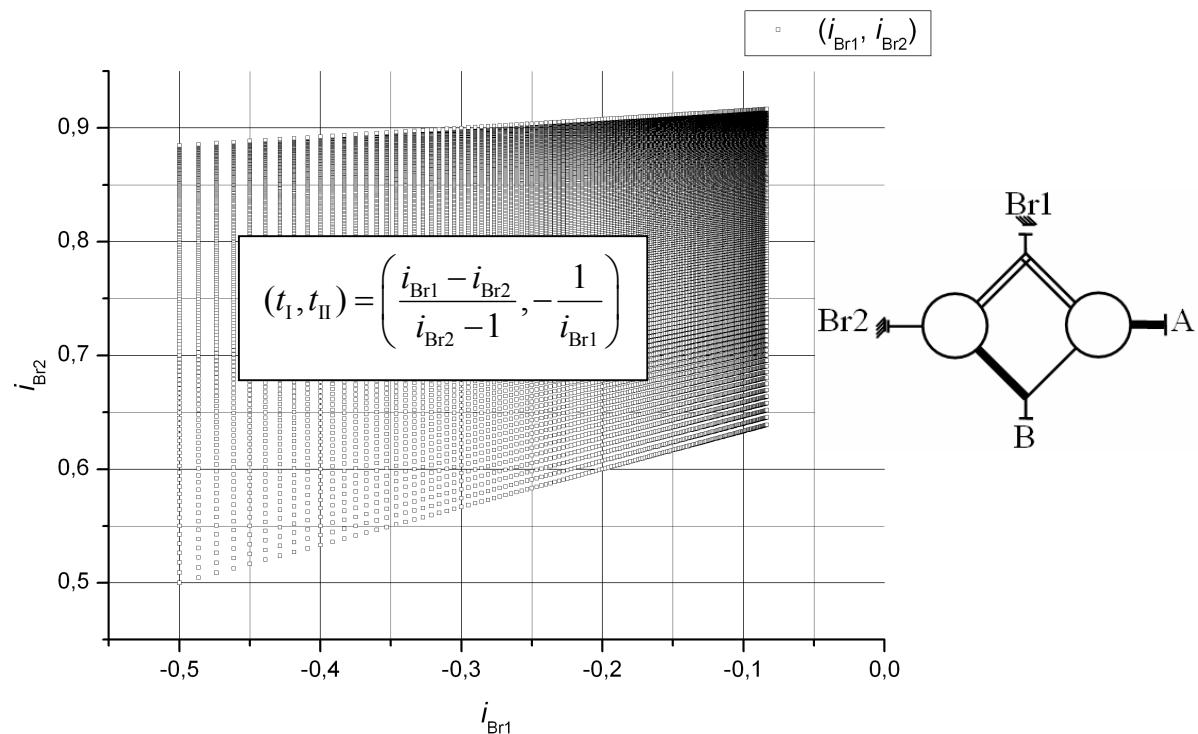
S13V9



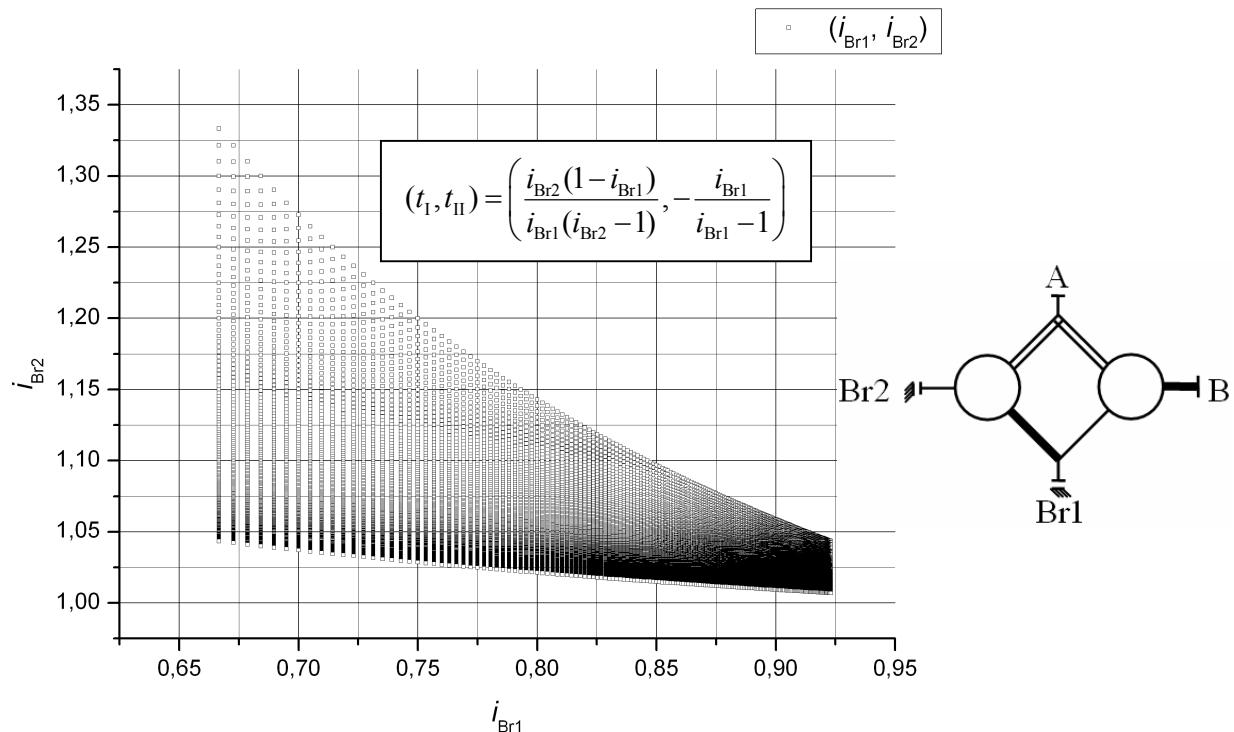
S13V4



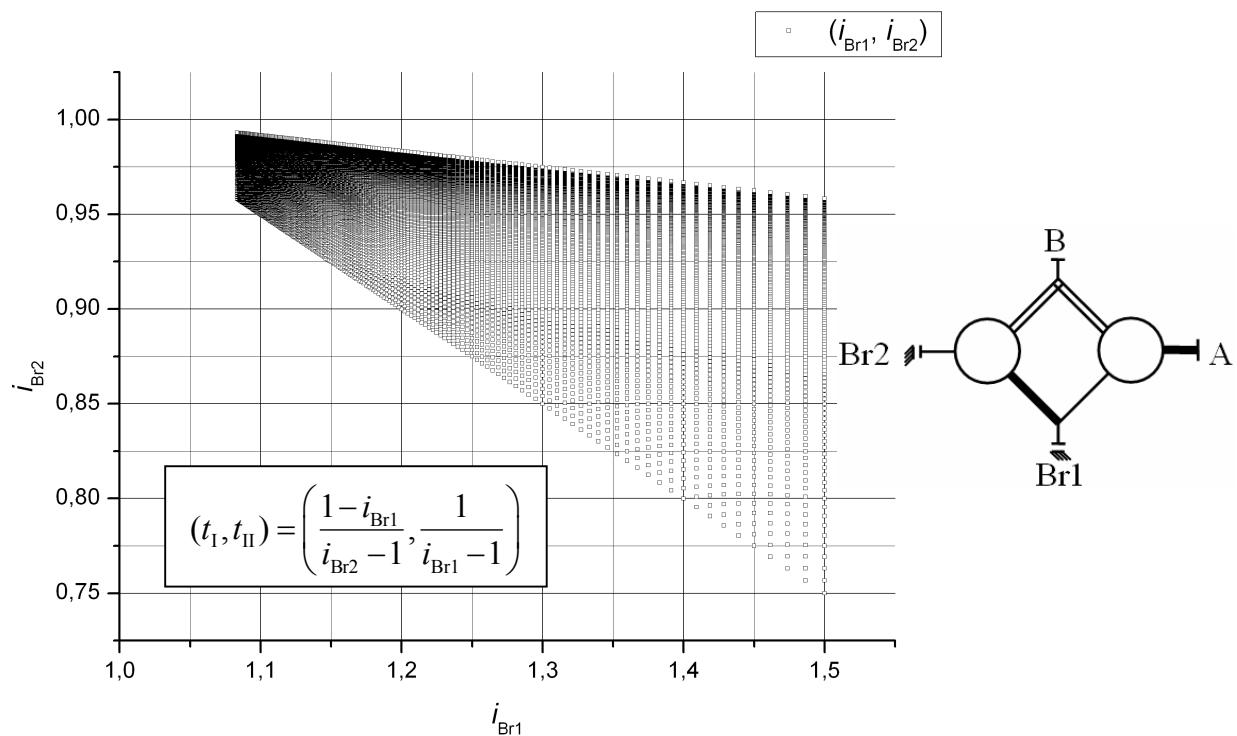
S13V10



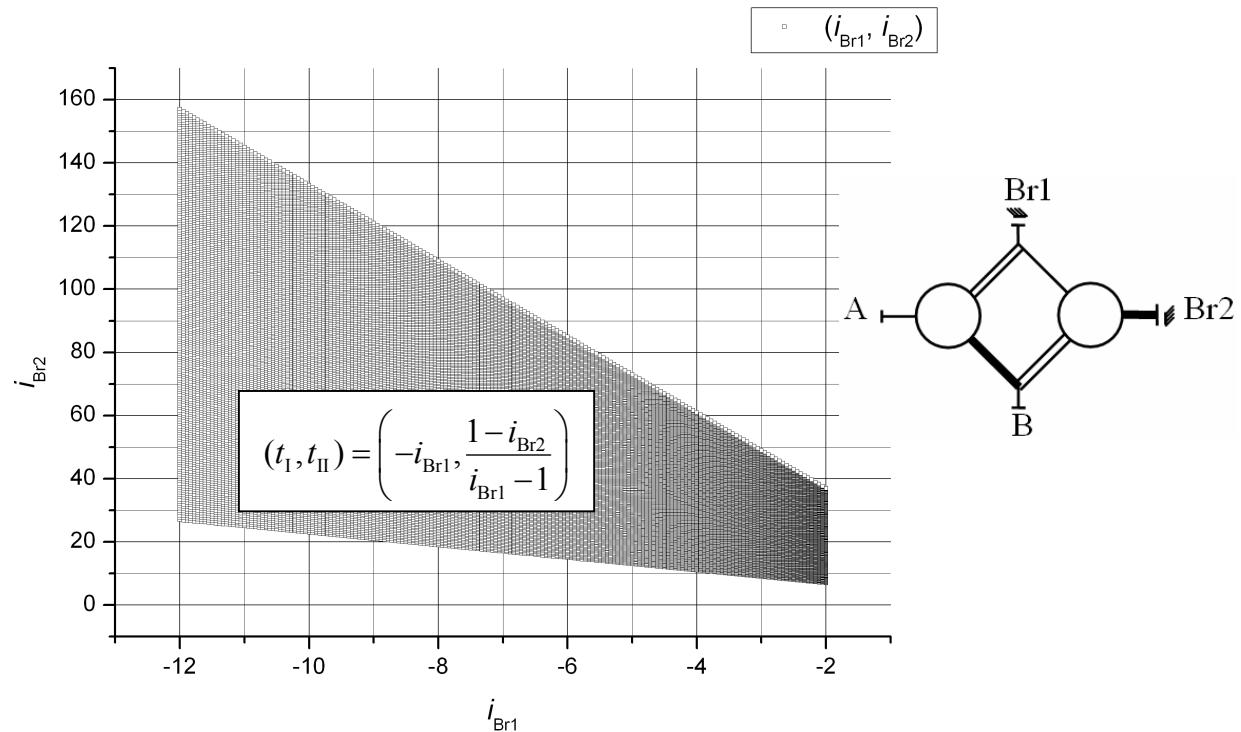
S13V5



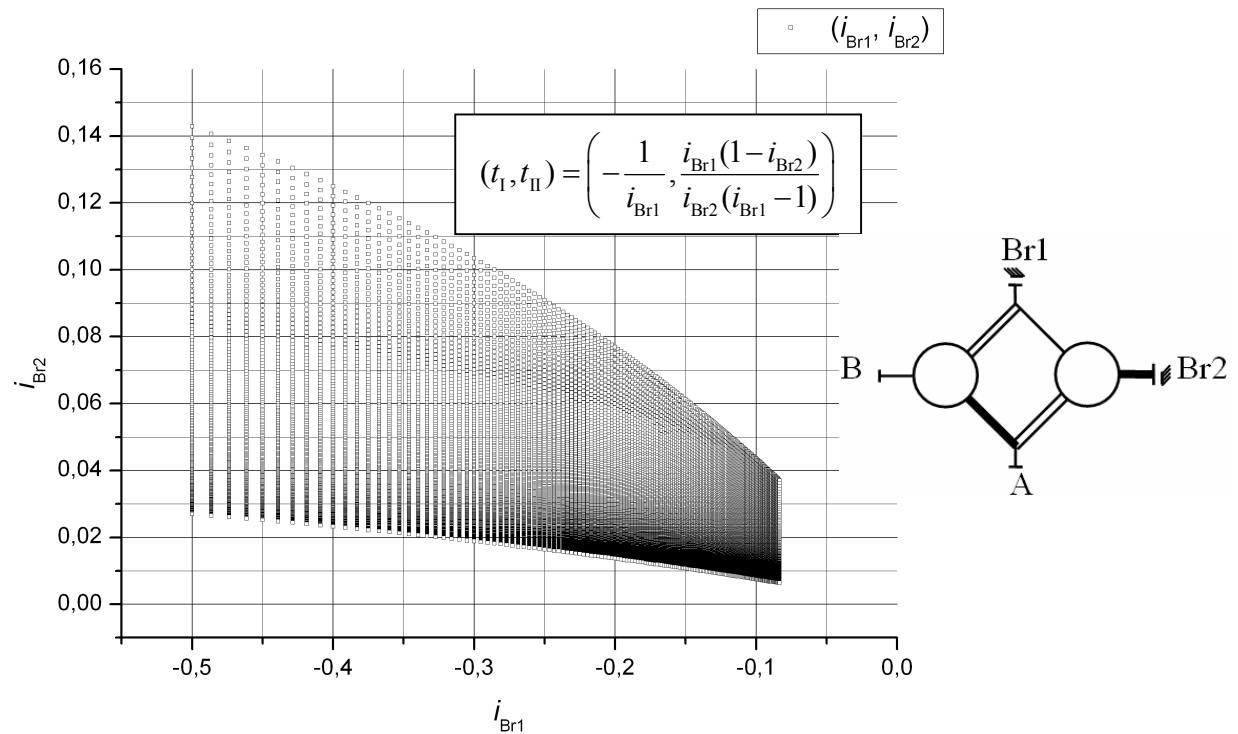
S13V11



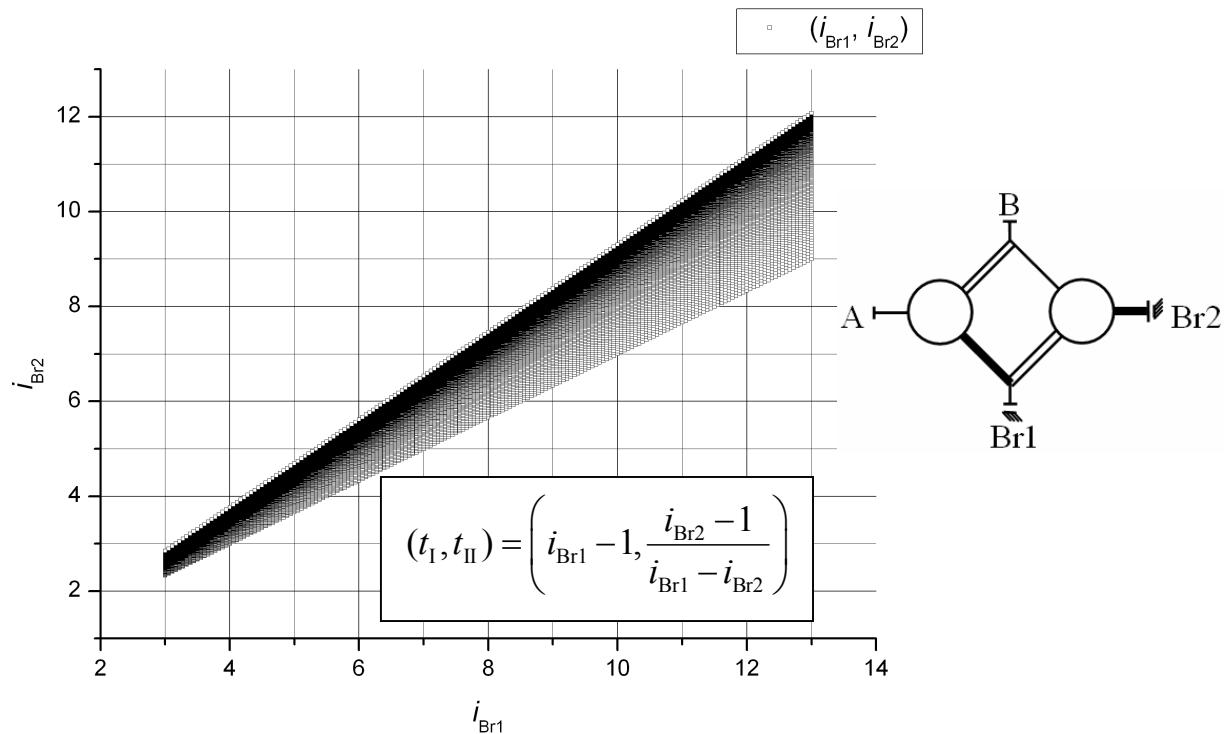
S14V2



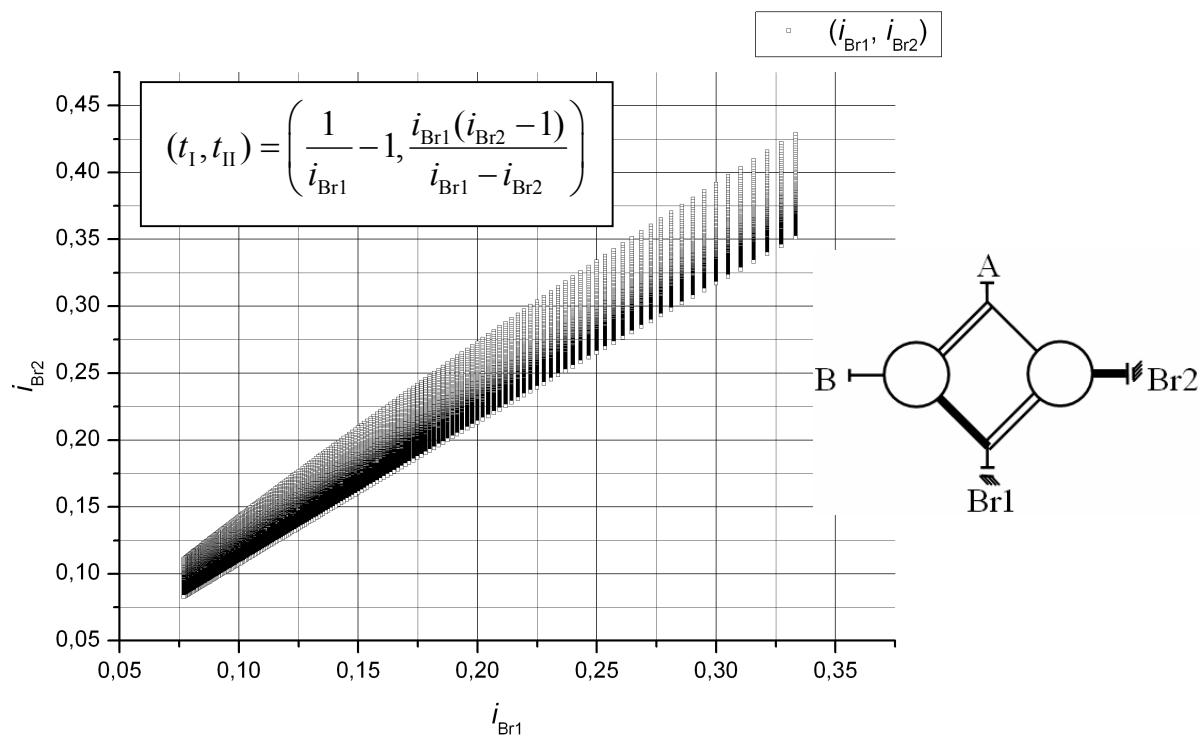
S14V8



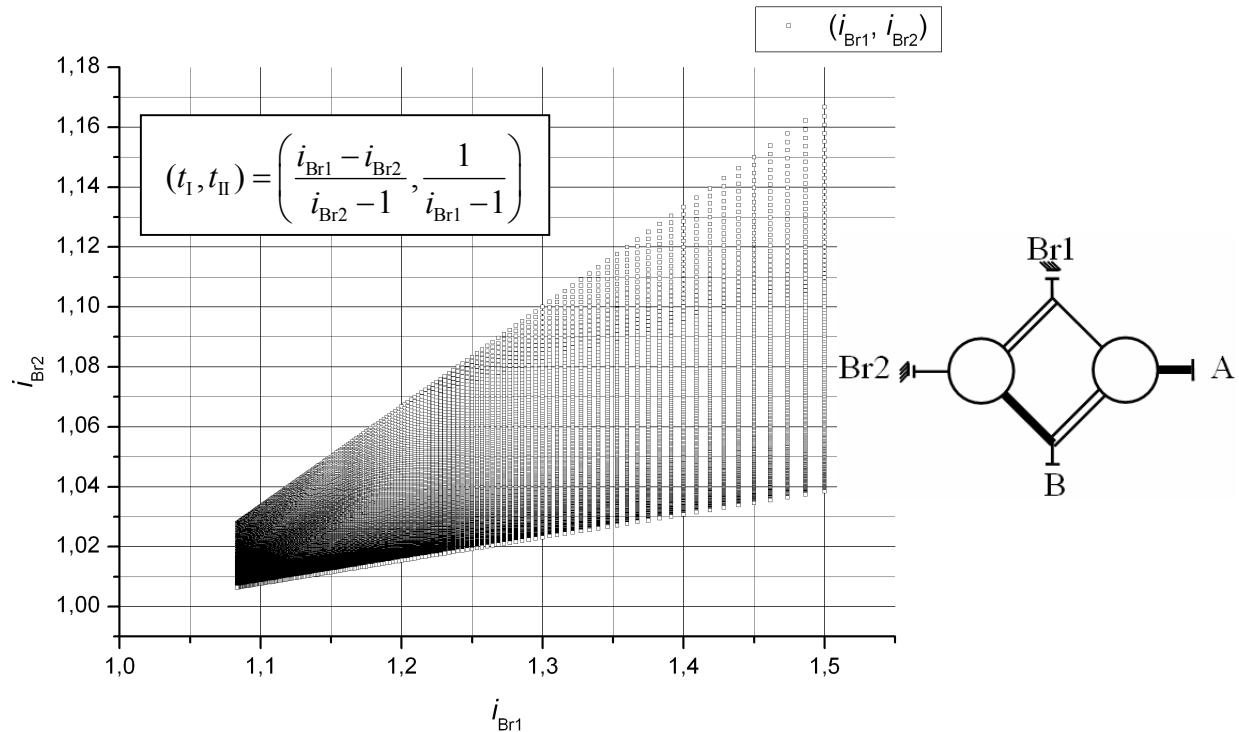
S14V3



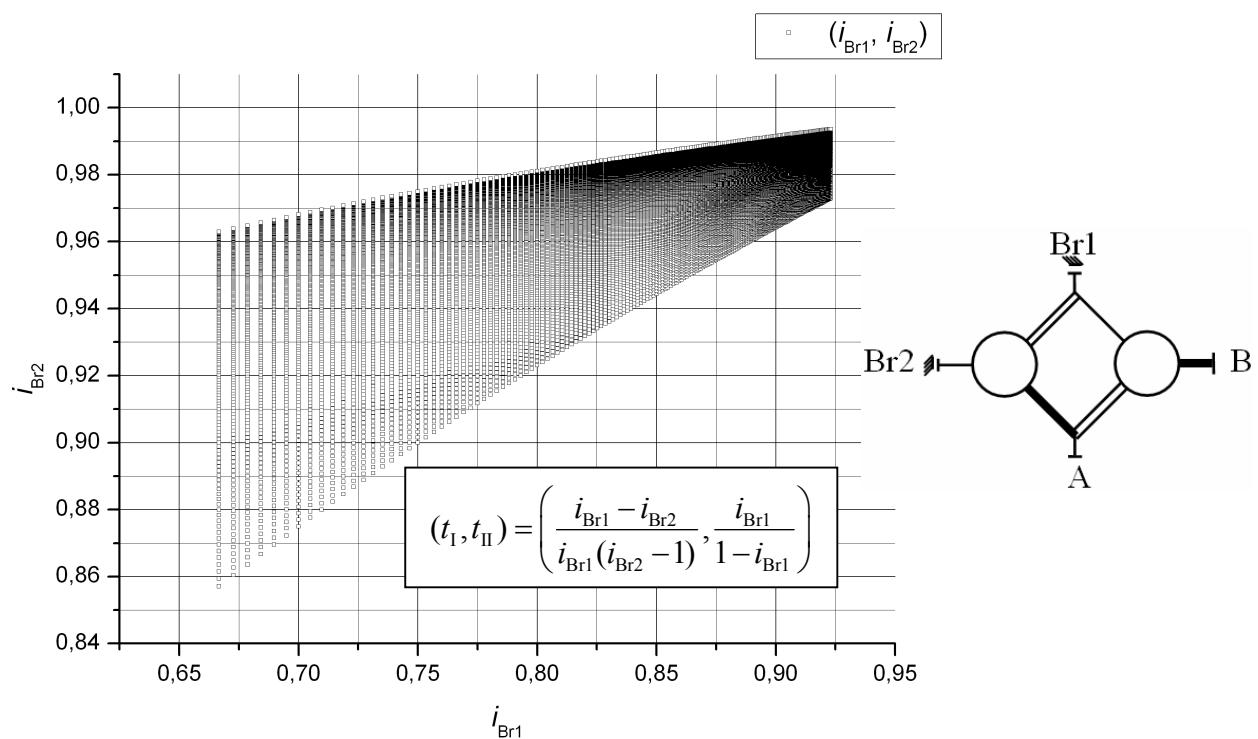
S14V9



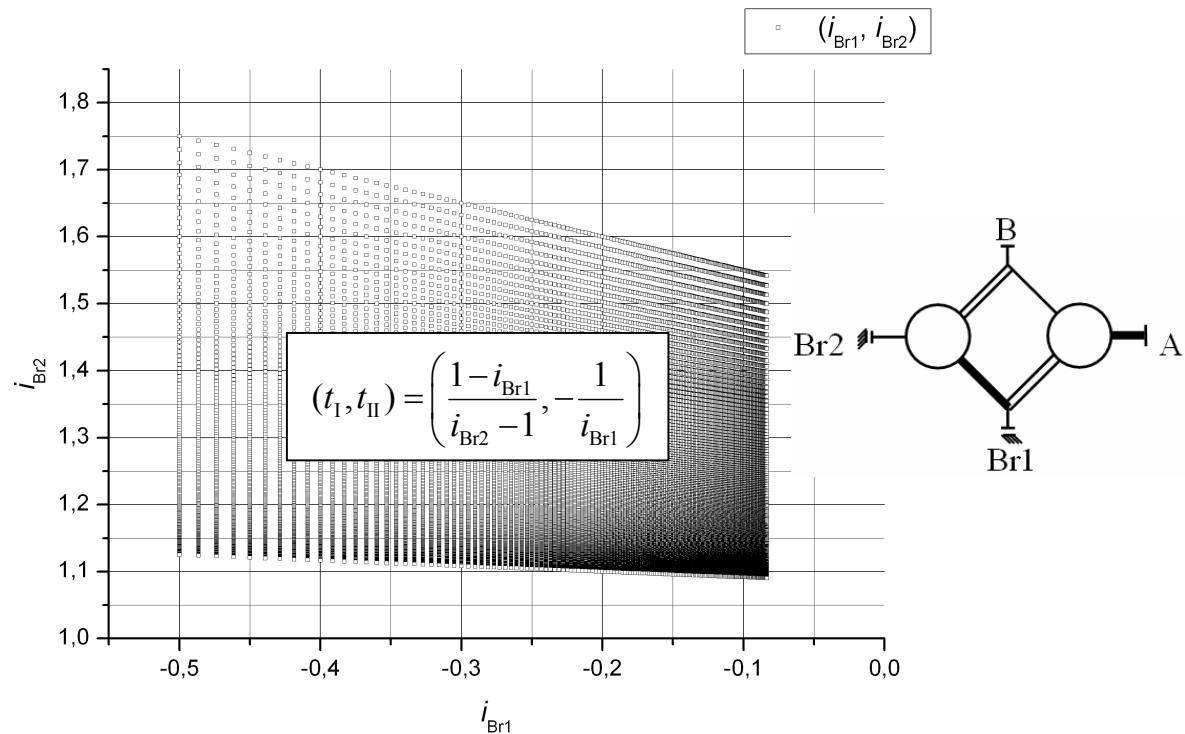
14V10



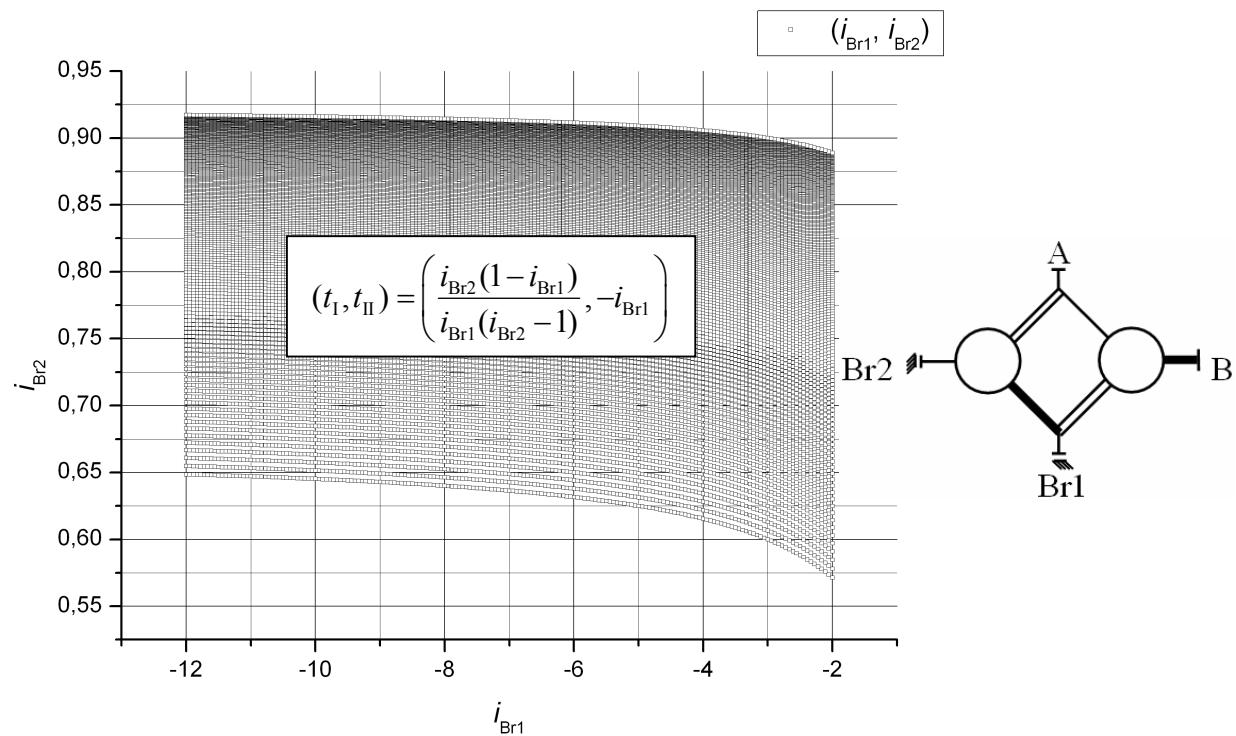
S14V4



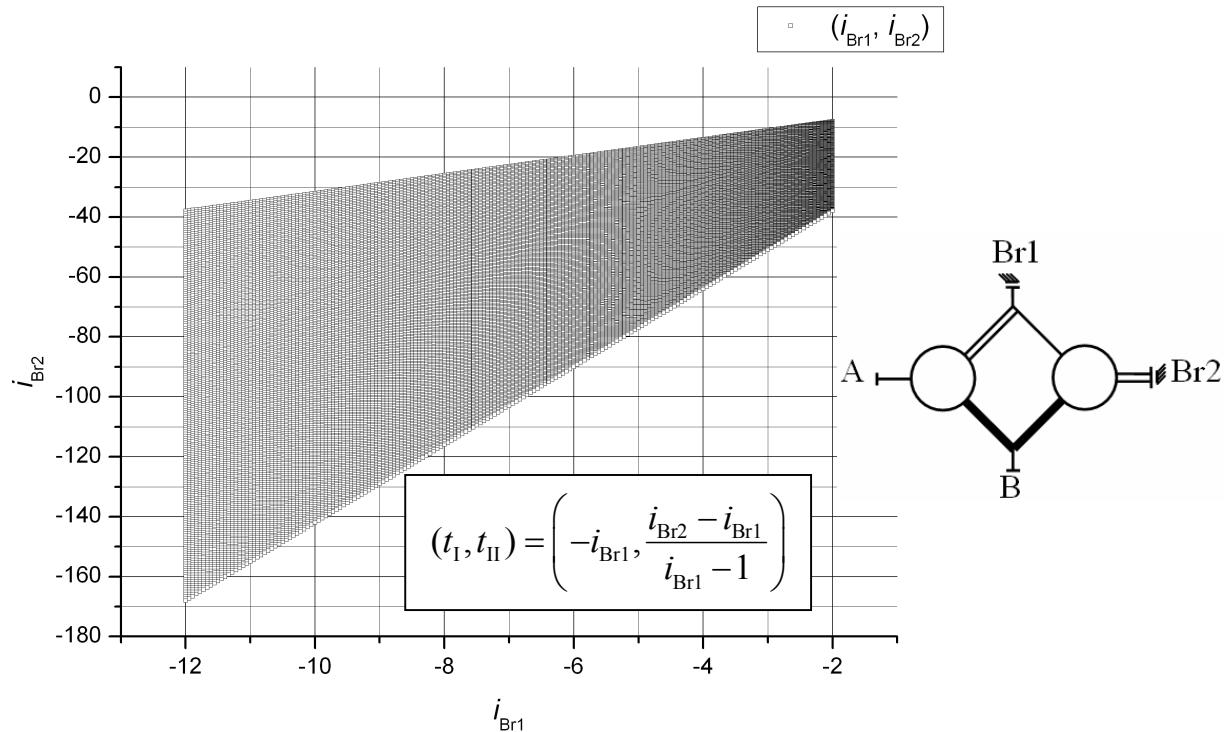
S14V11



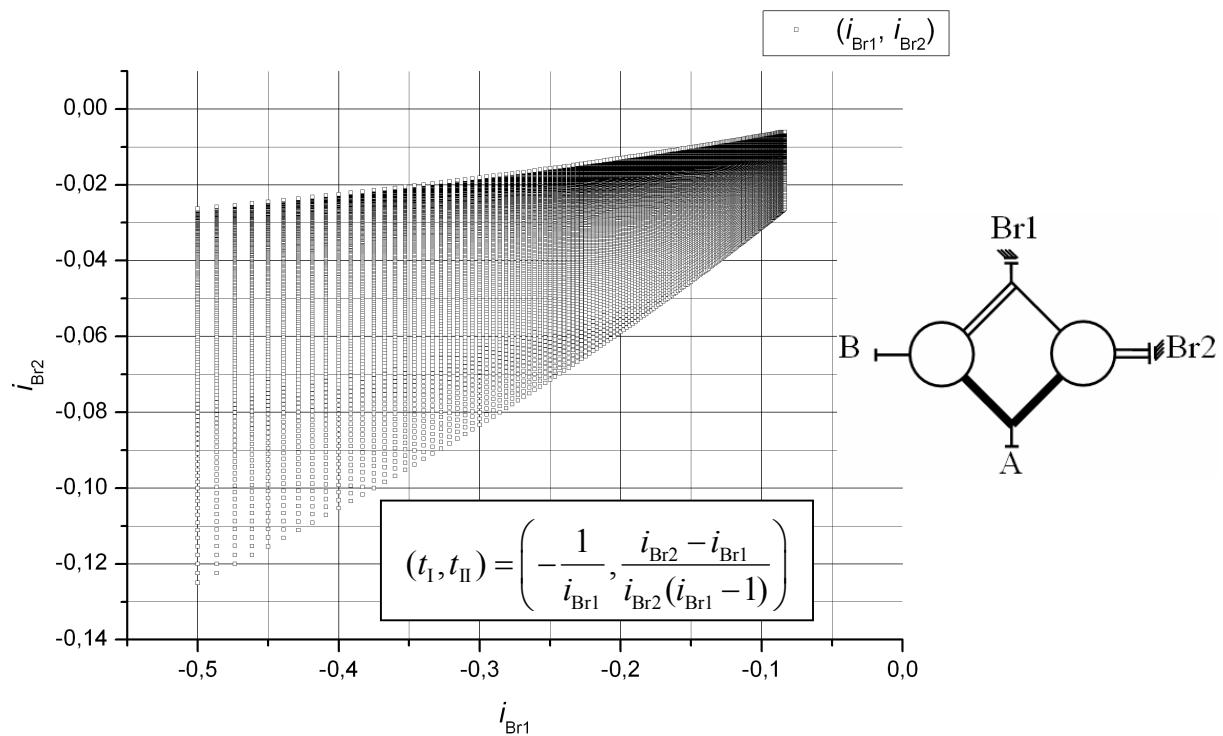
S14V5



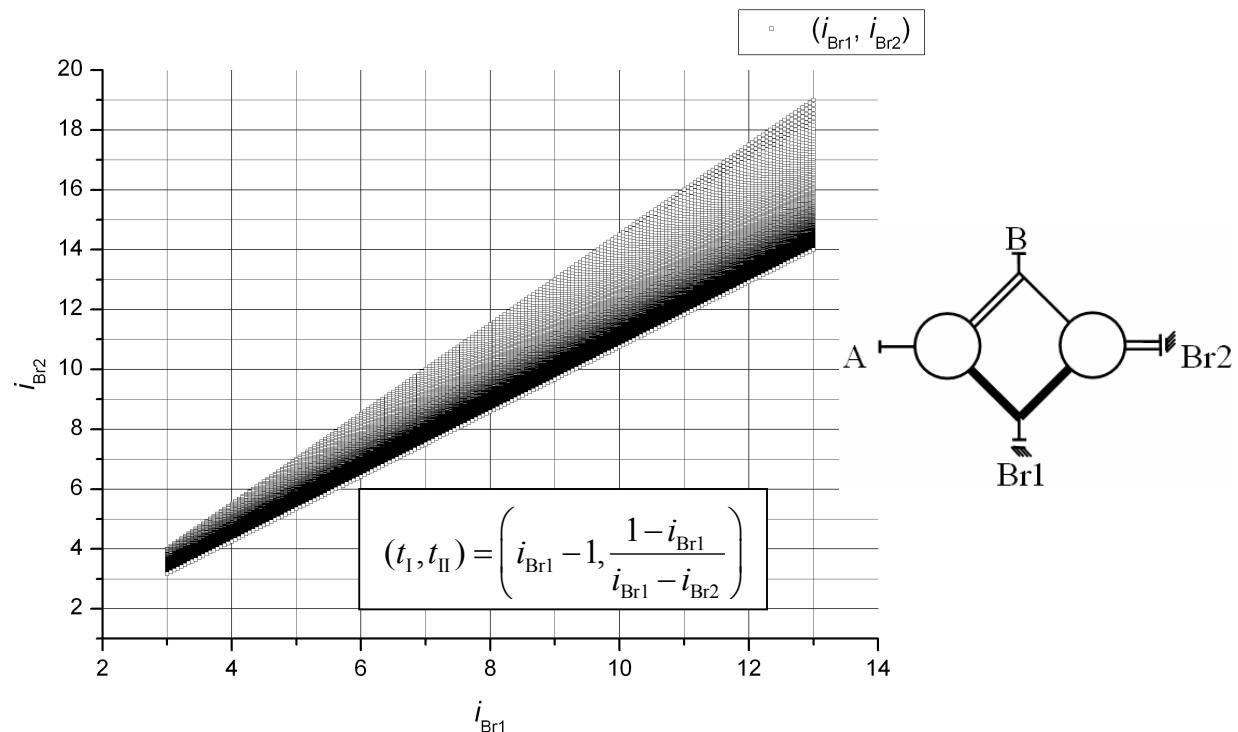
S15V2



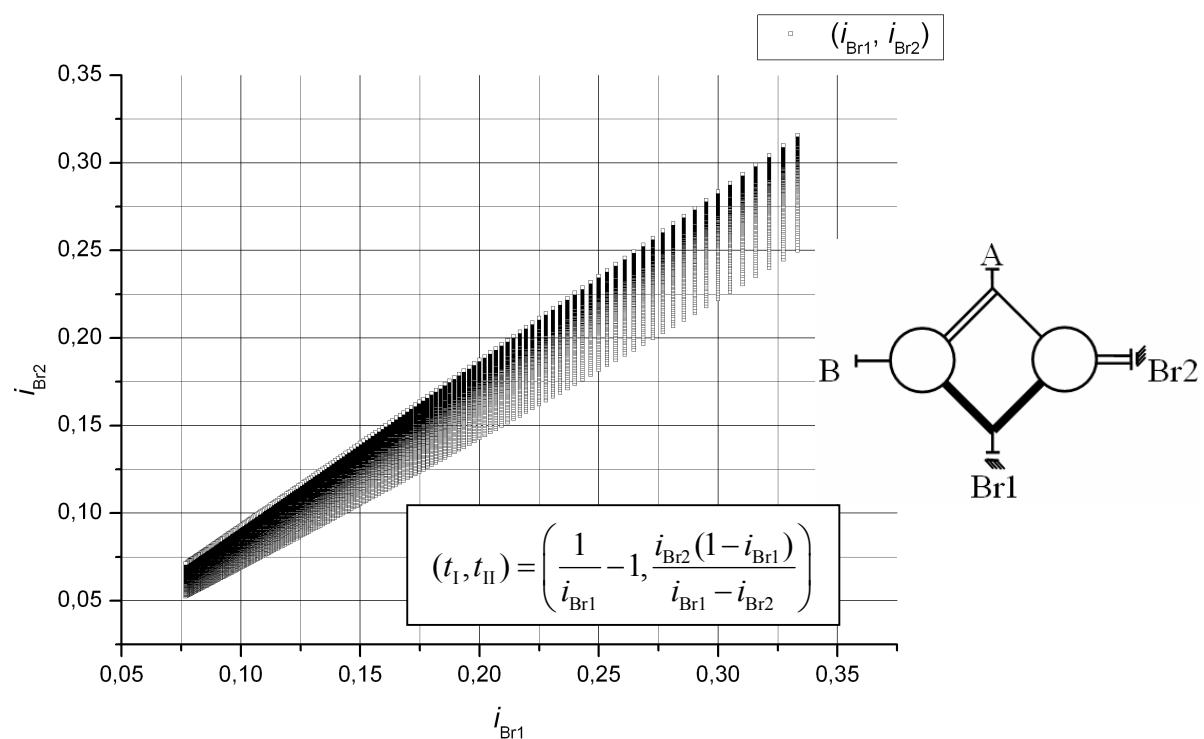
S15V8



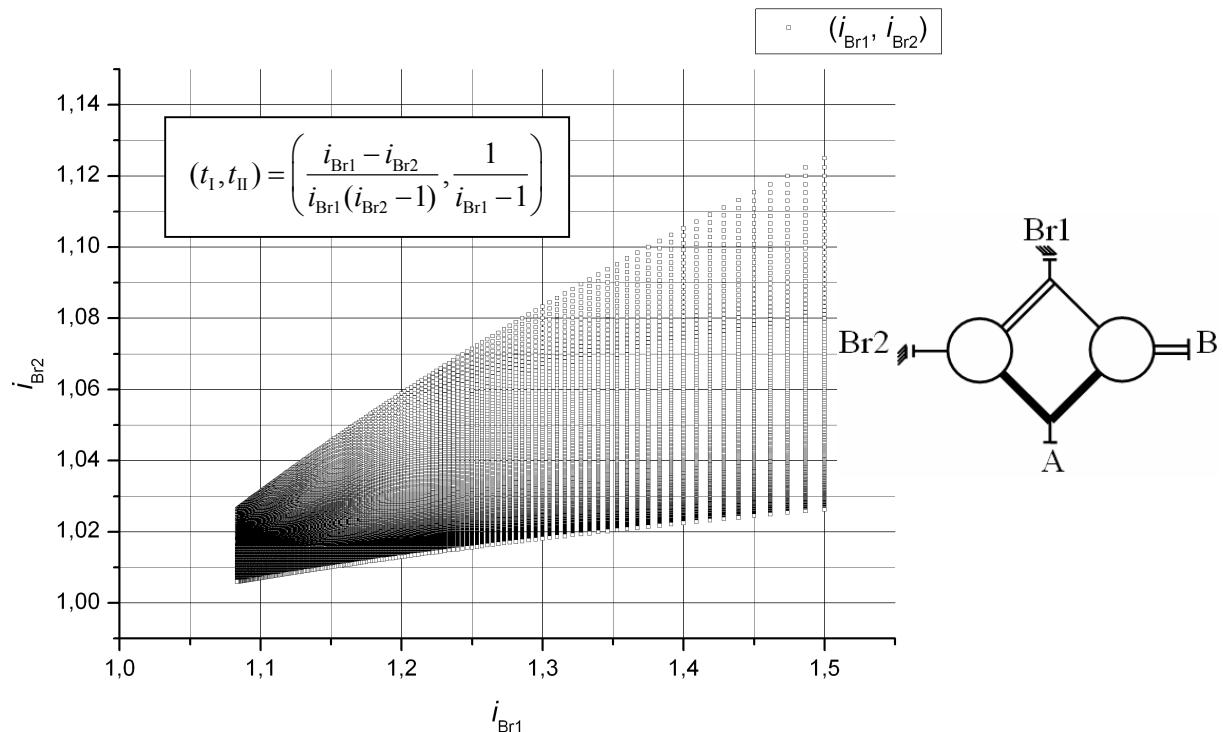
S15V3



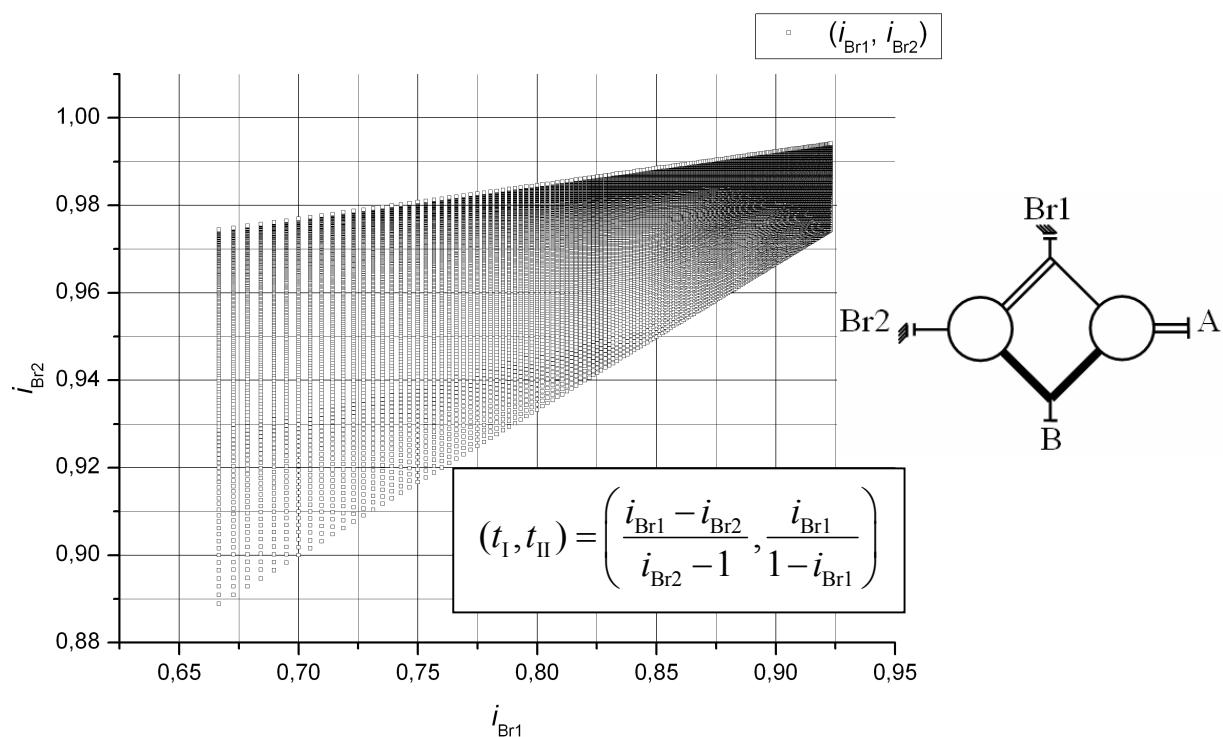
S15V9



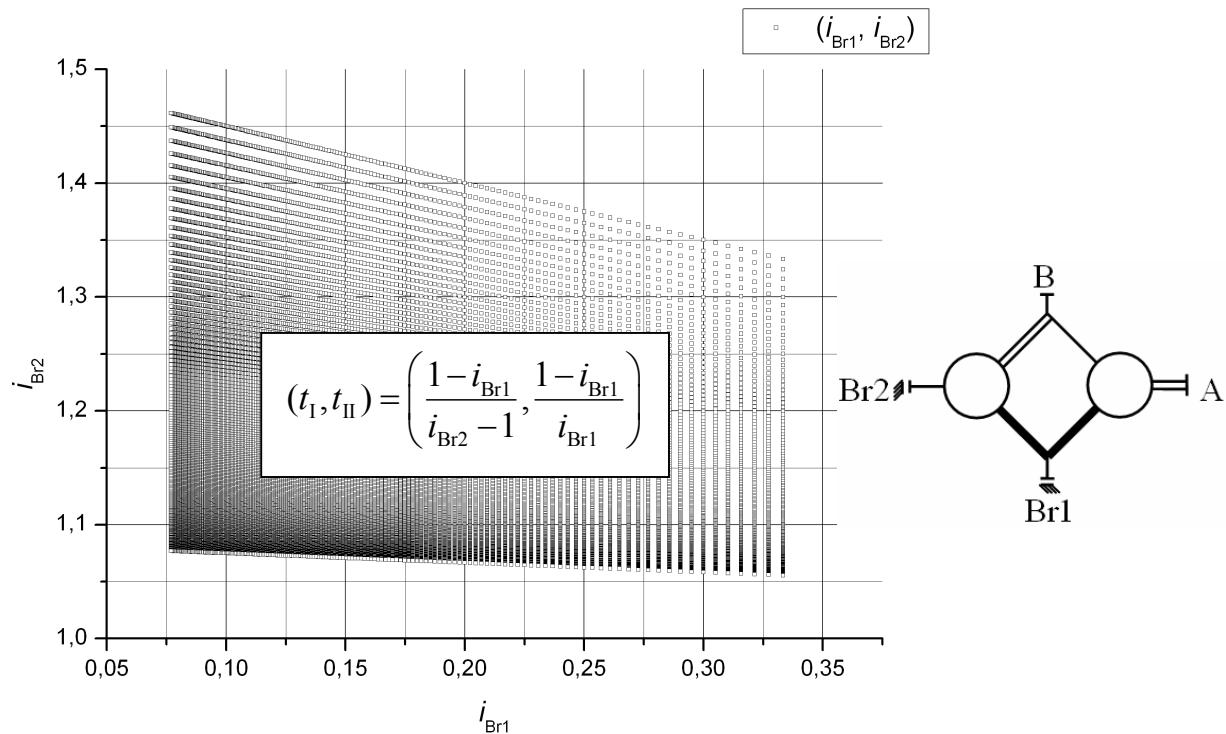
S15V4



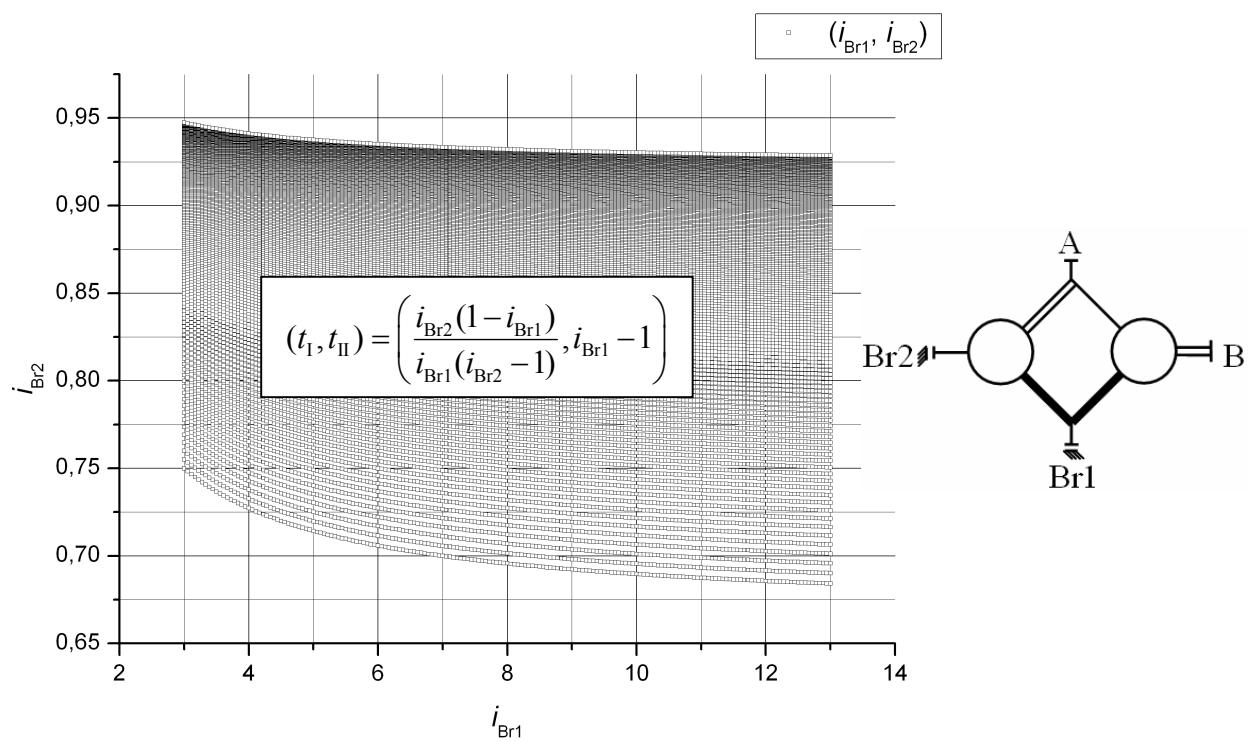
15V10

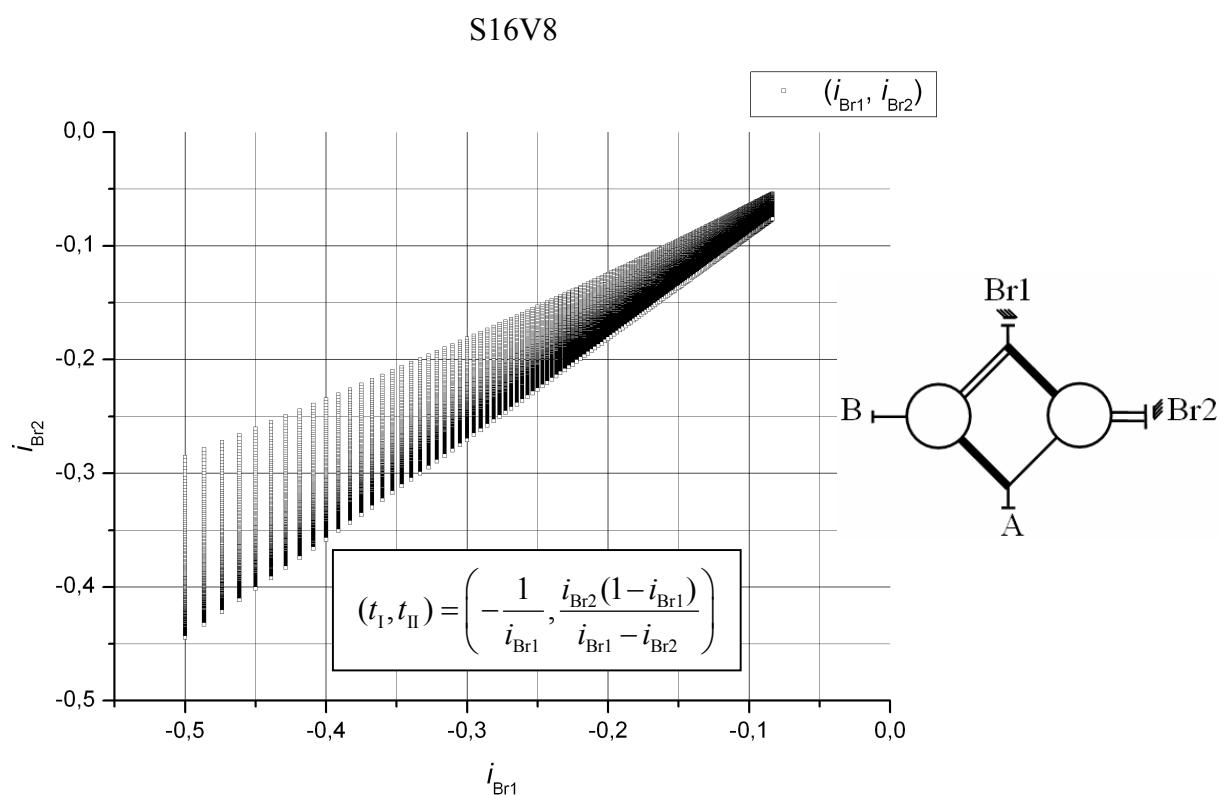
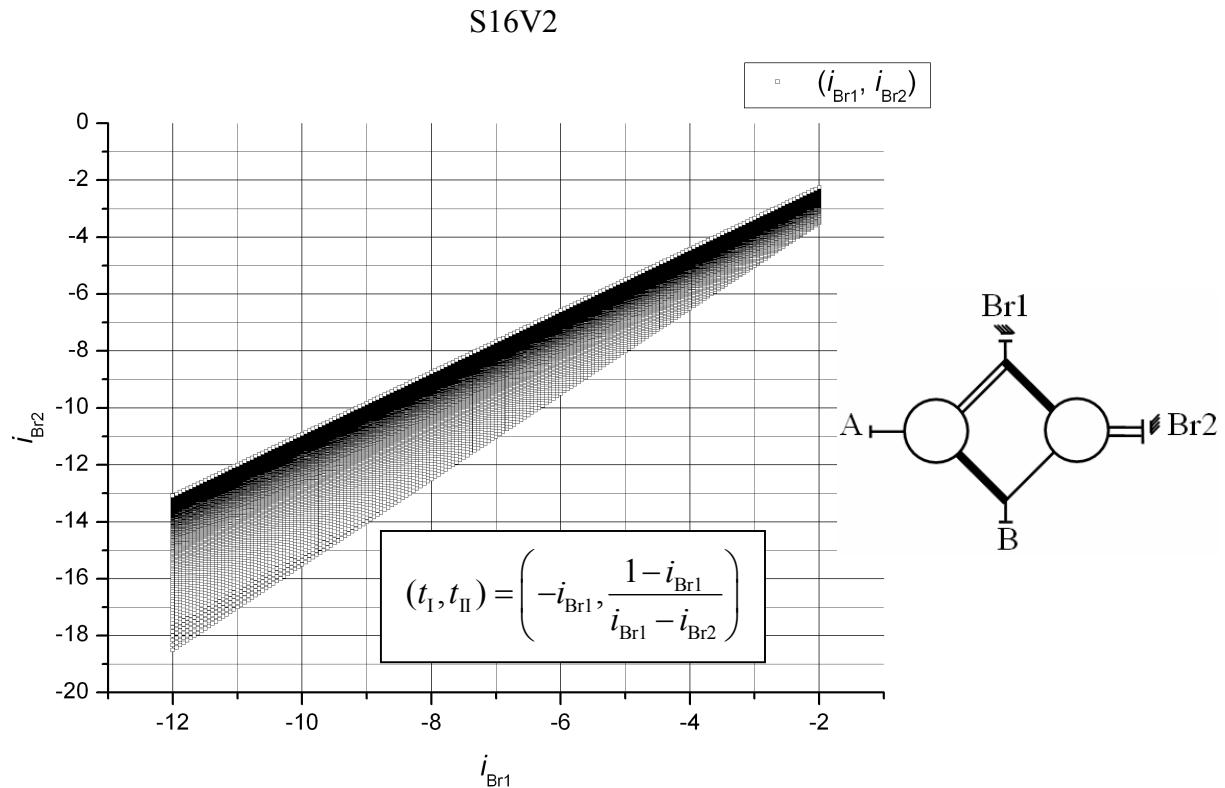


15V11

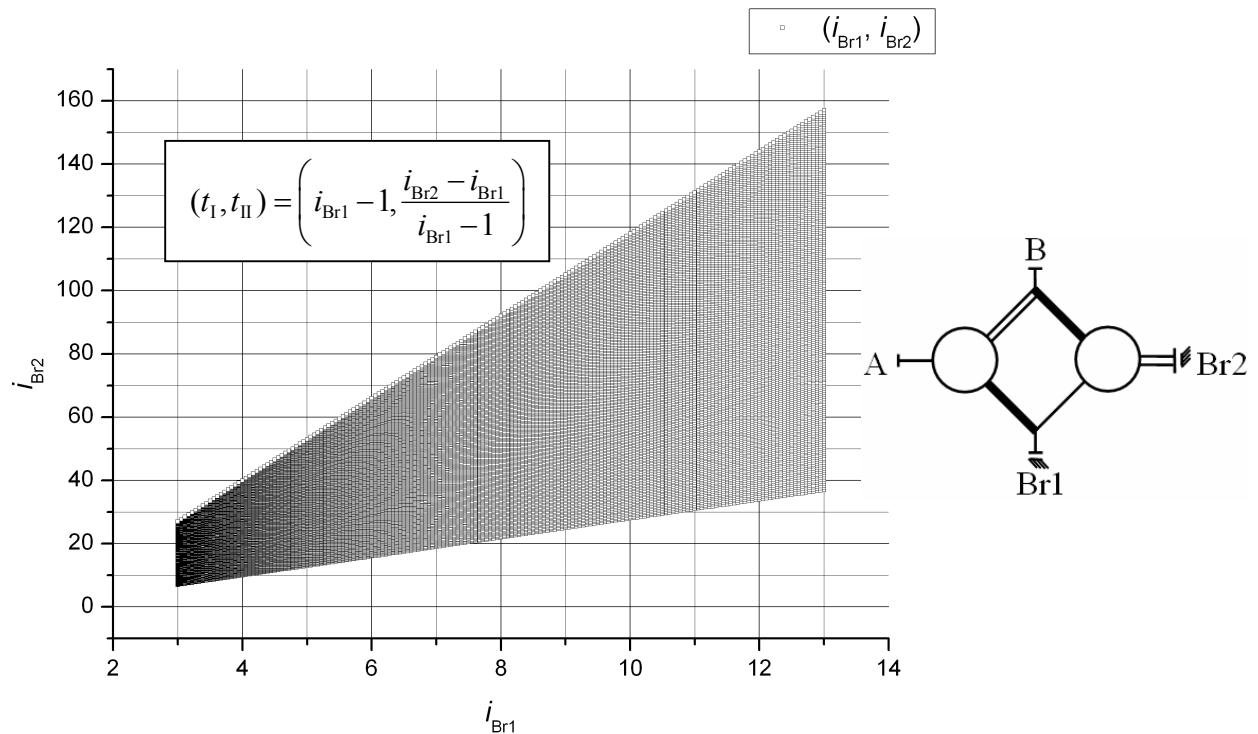


15V5

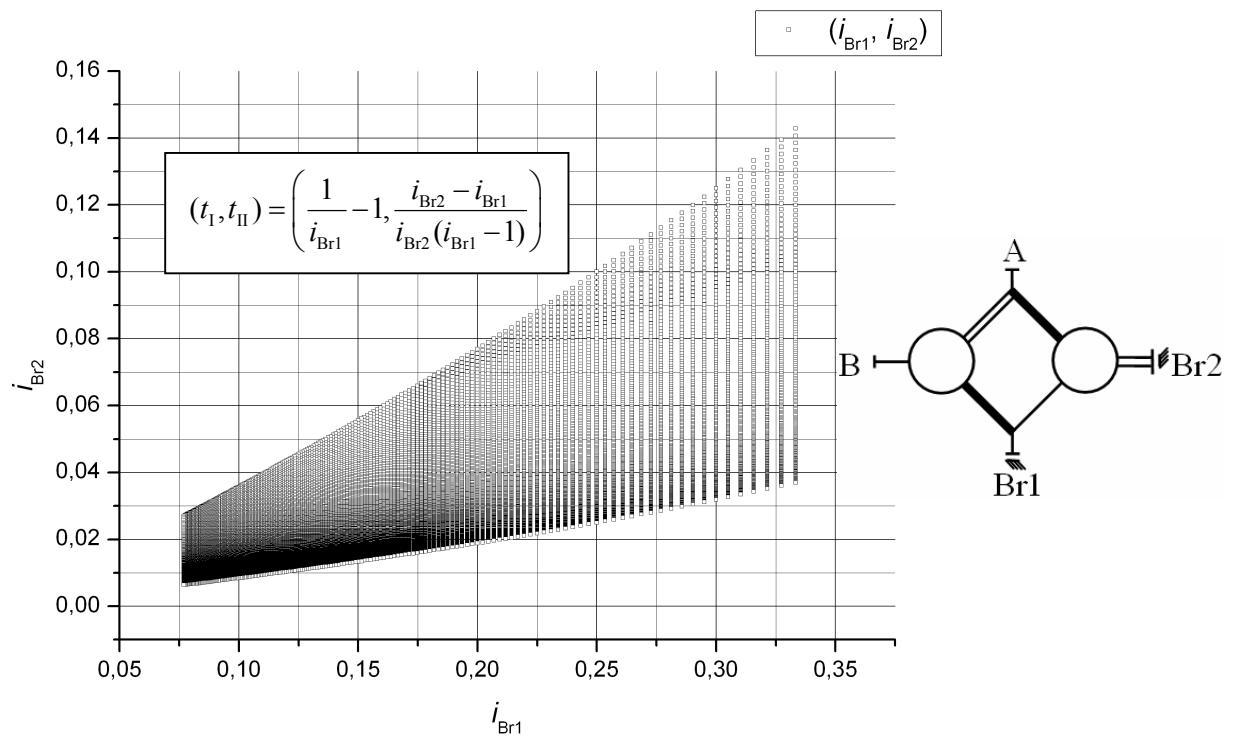




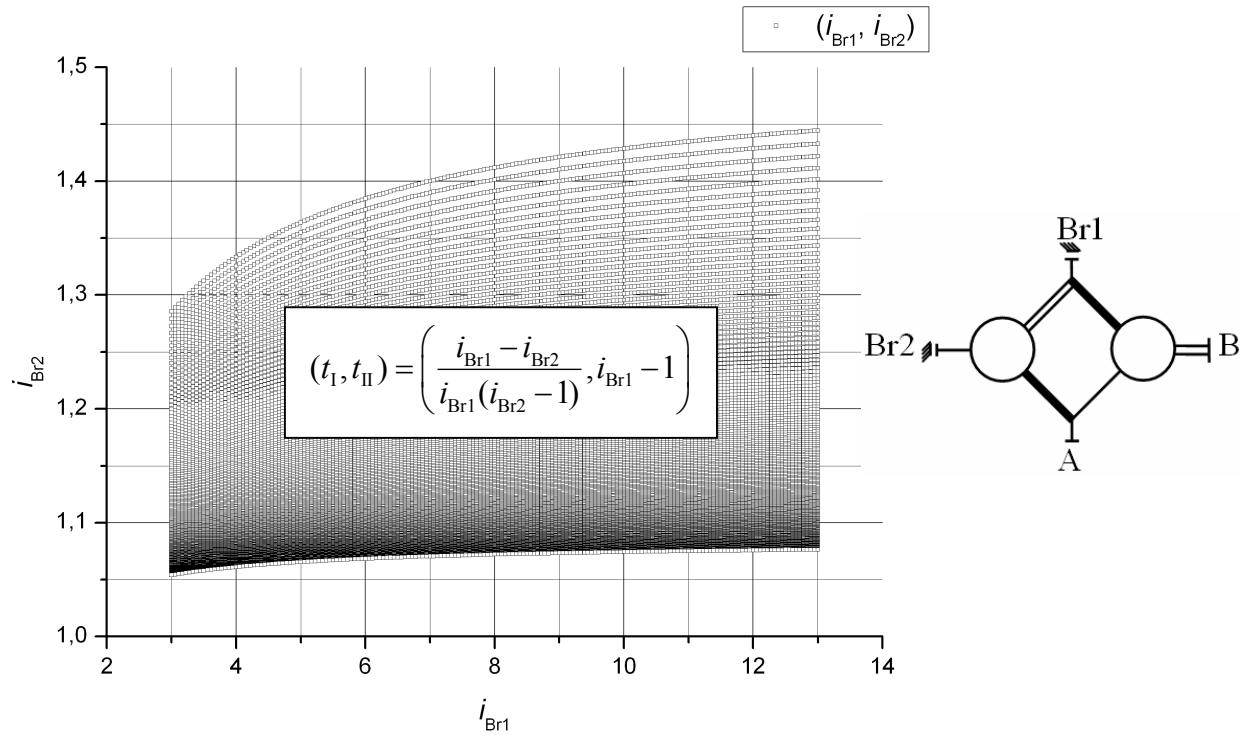
S16V3



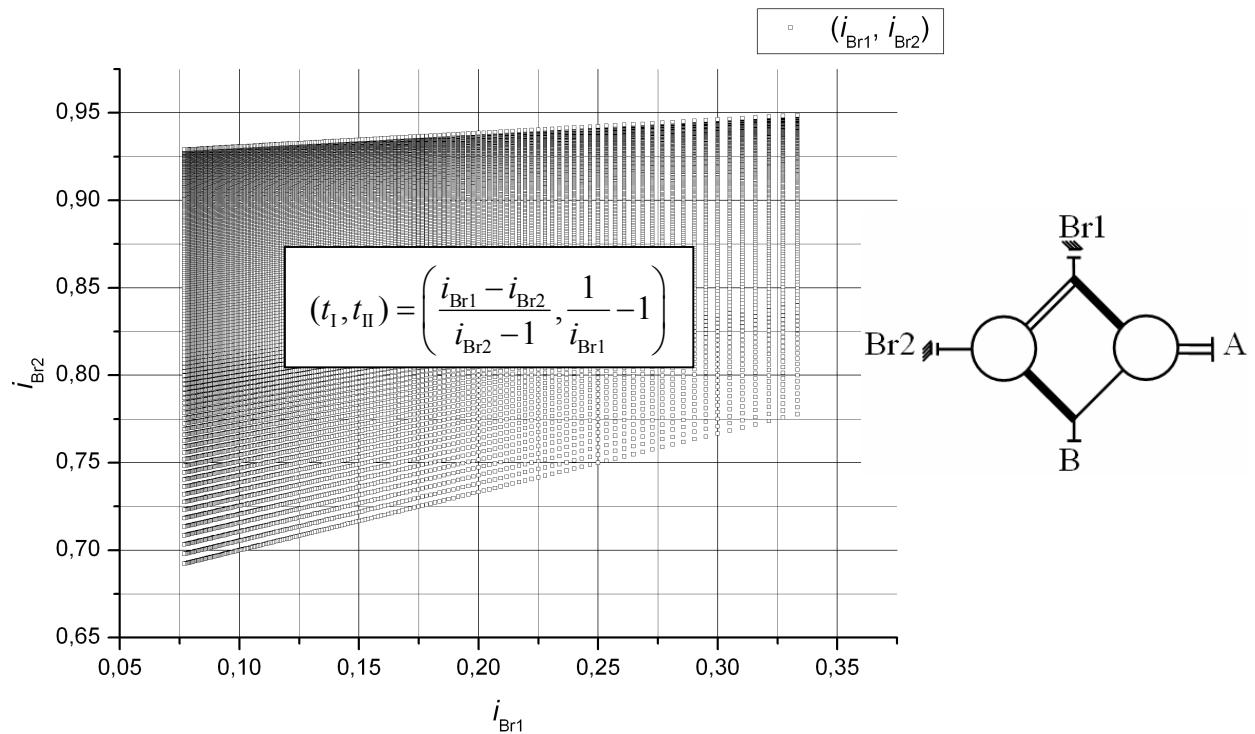
S16V9



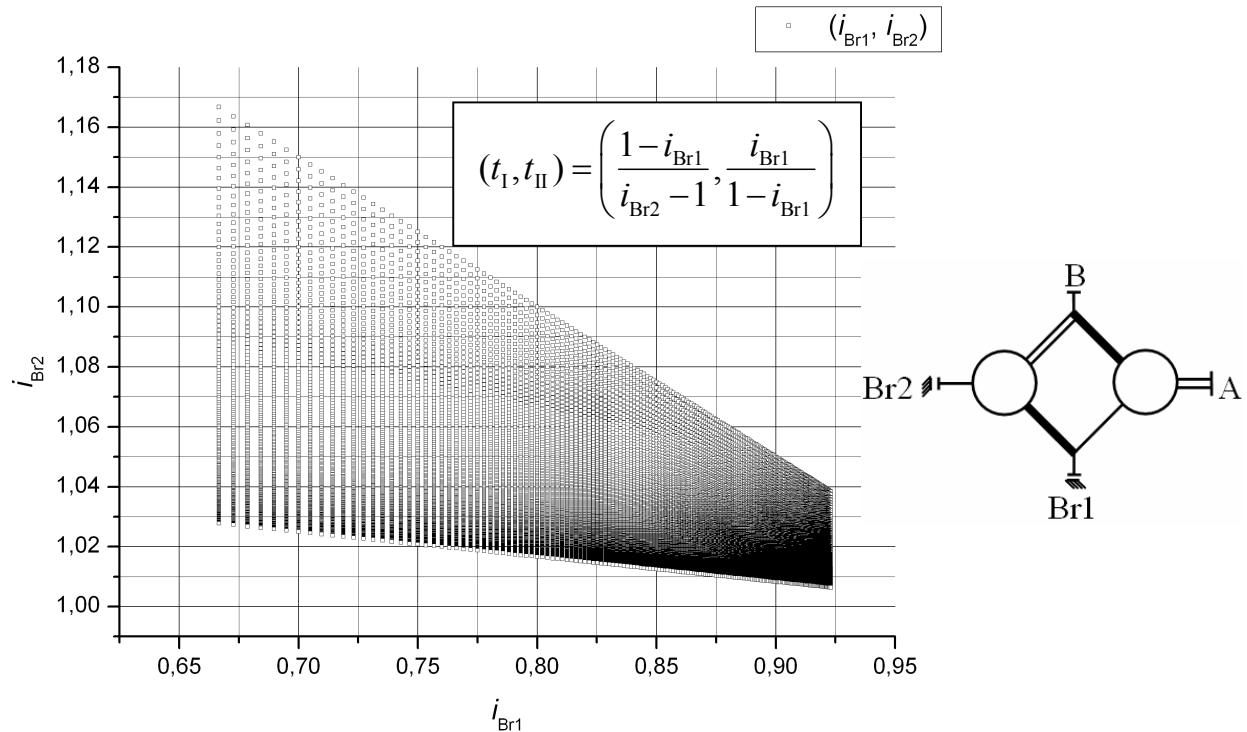
S16V4



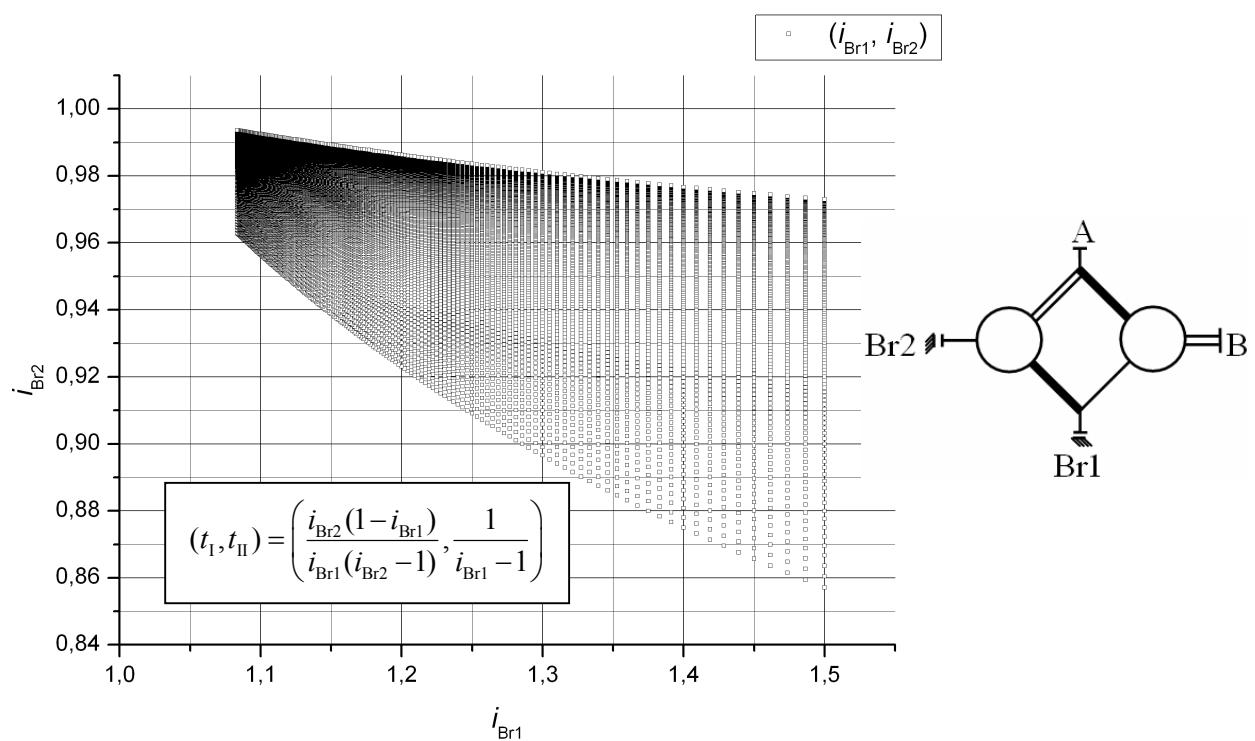
S16V10

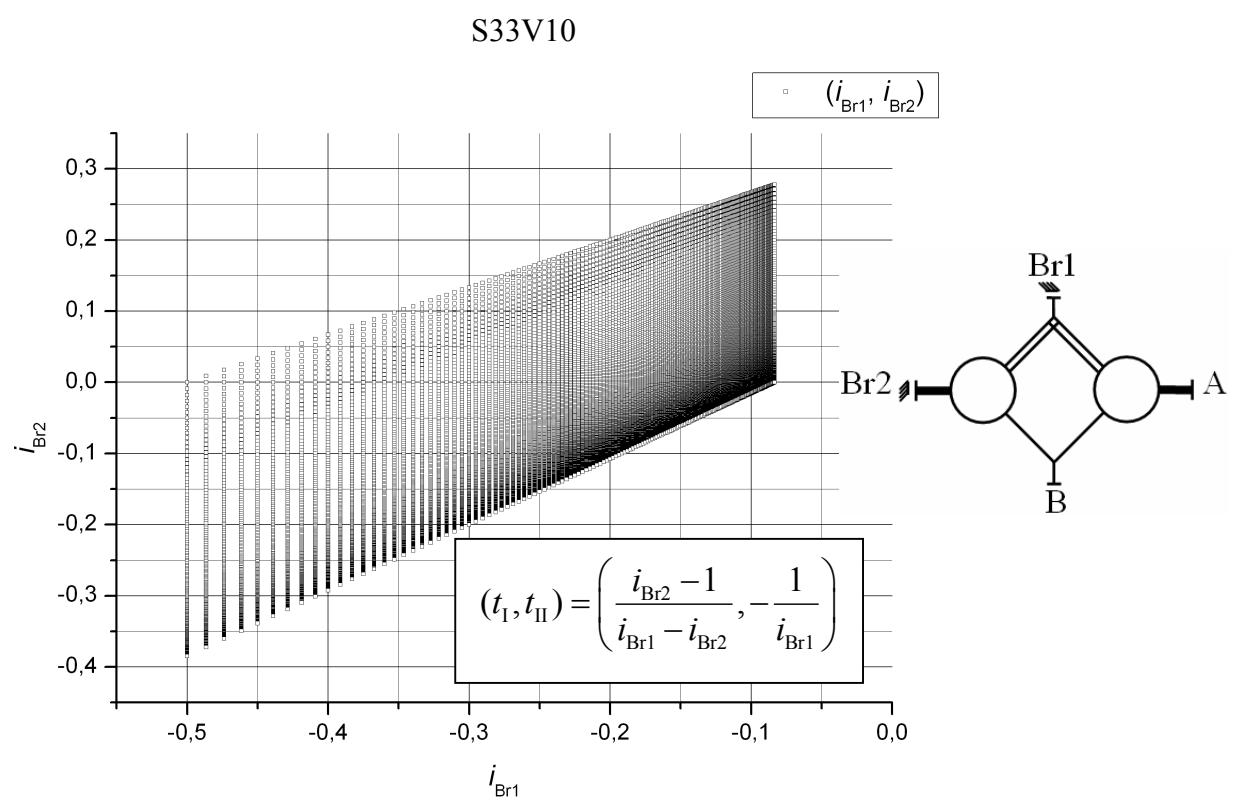
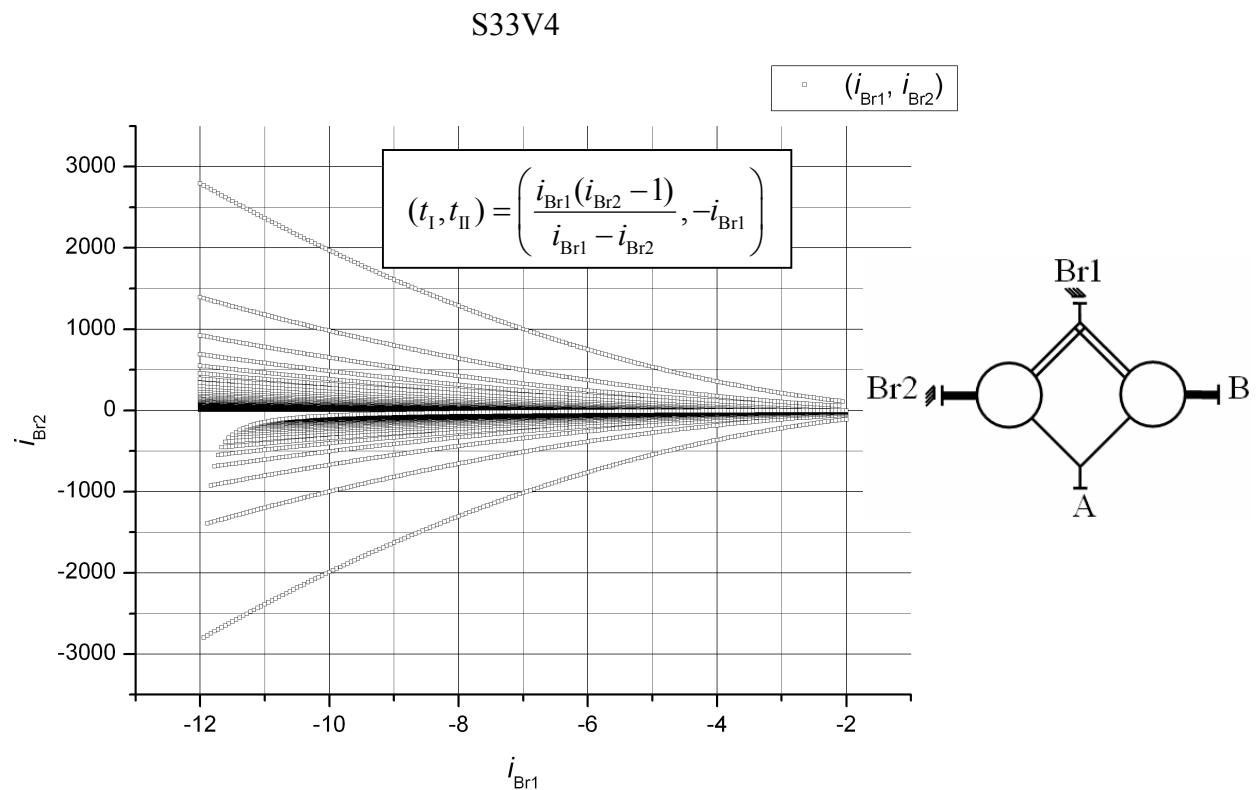


S16V11

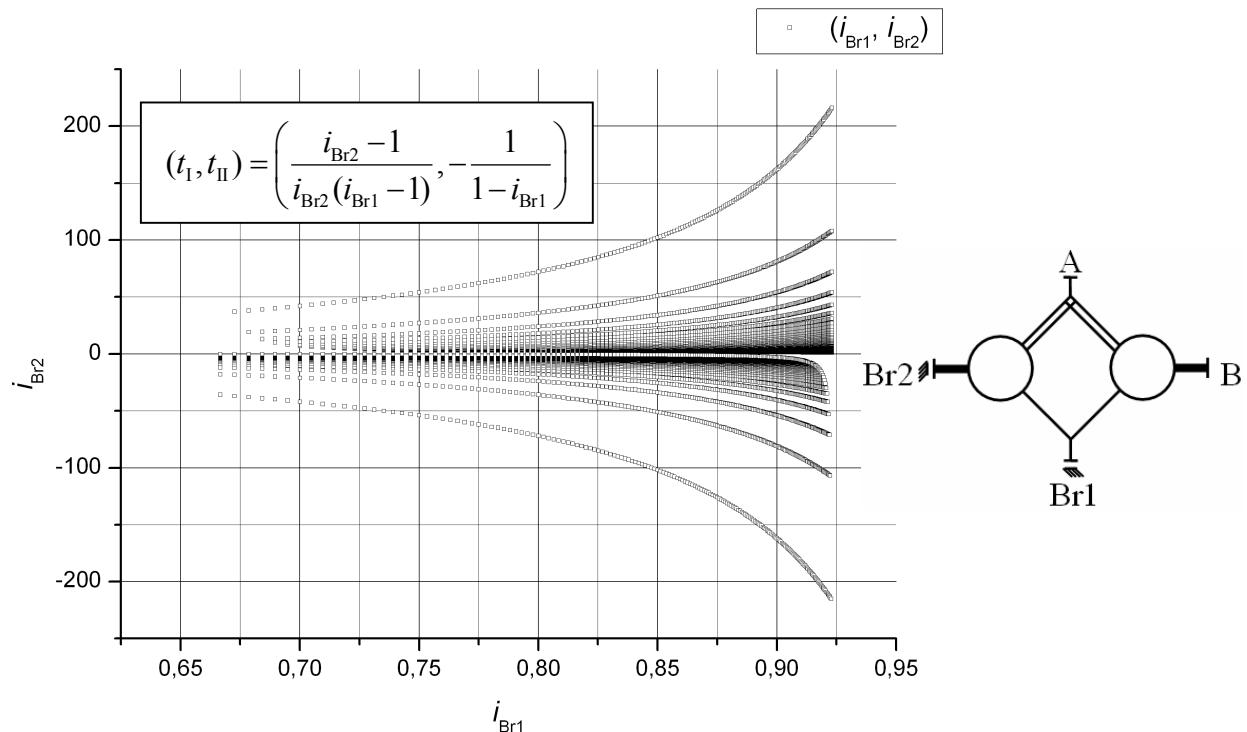


S16V5

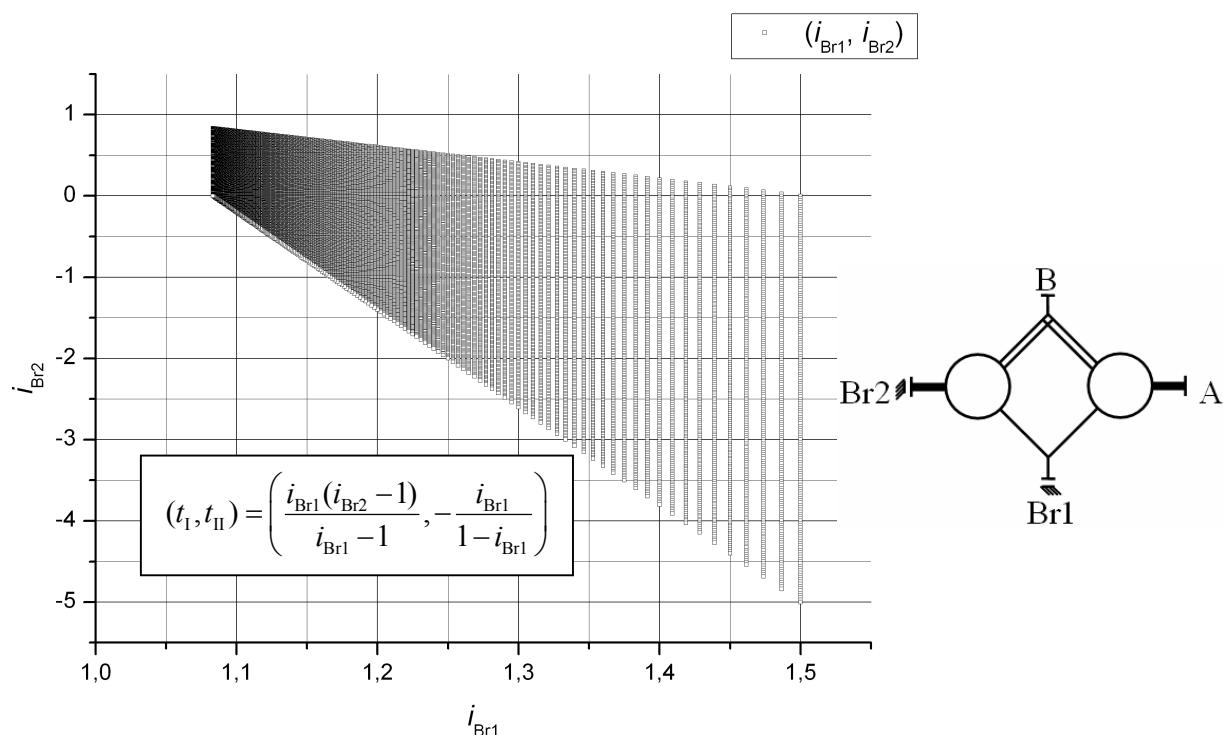




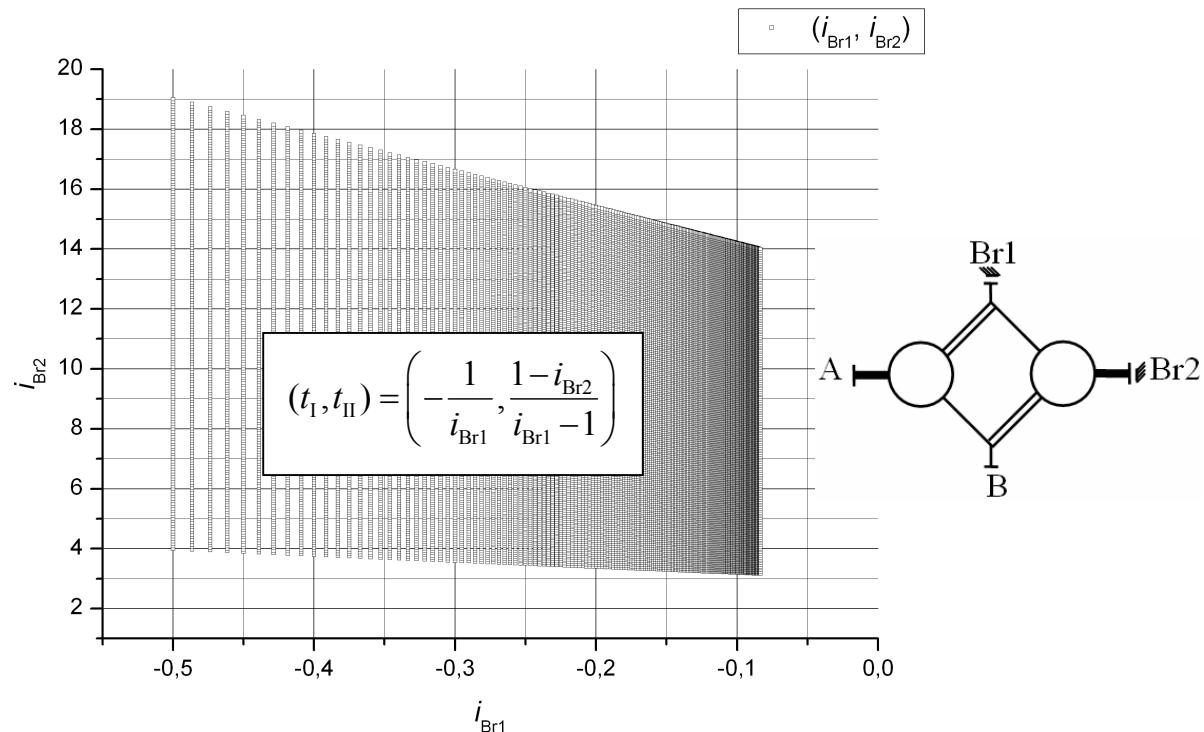
S33V5



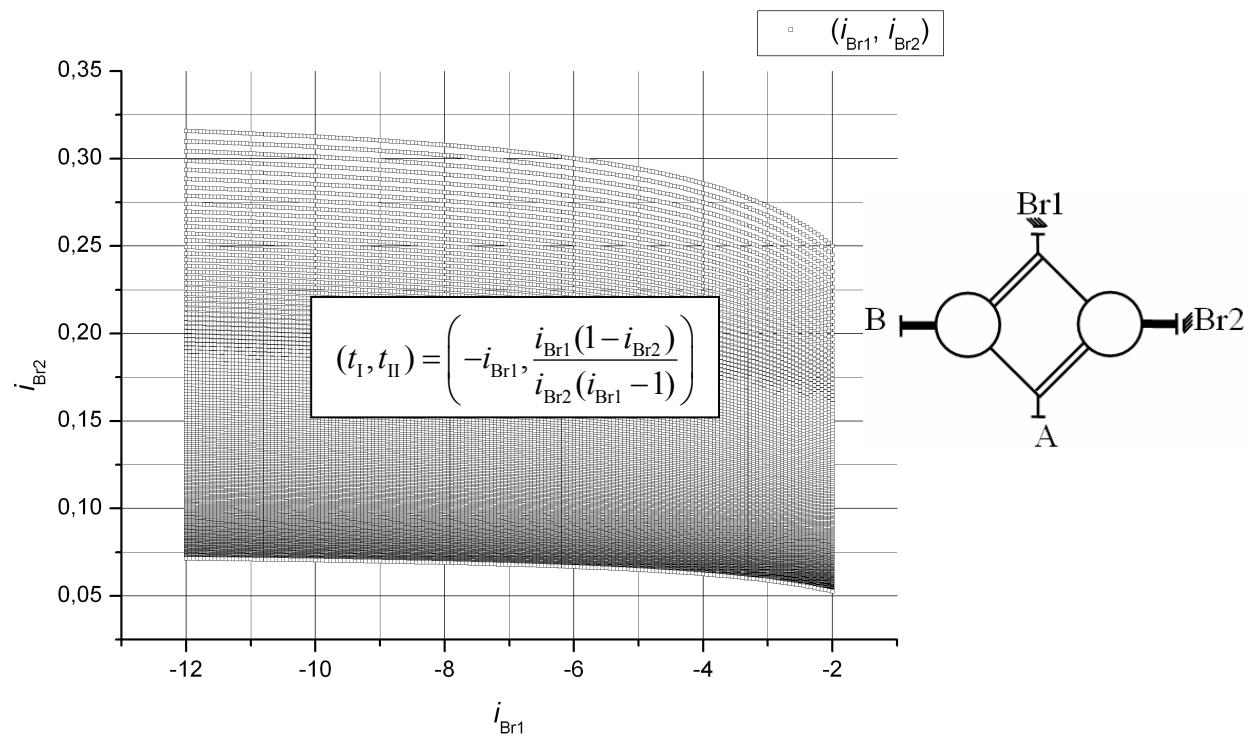
33V11



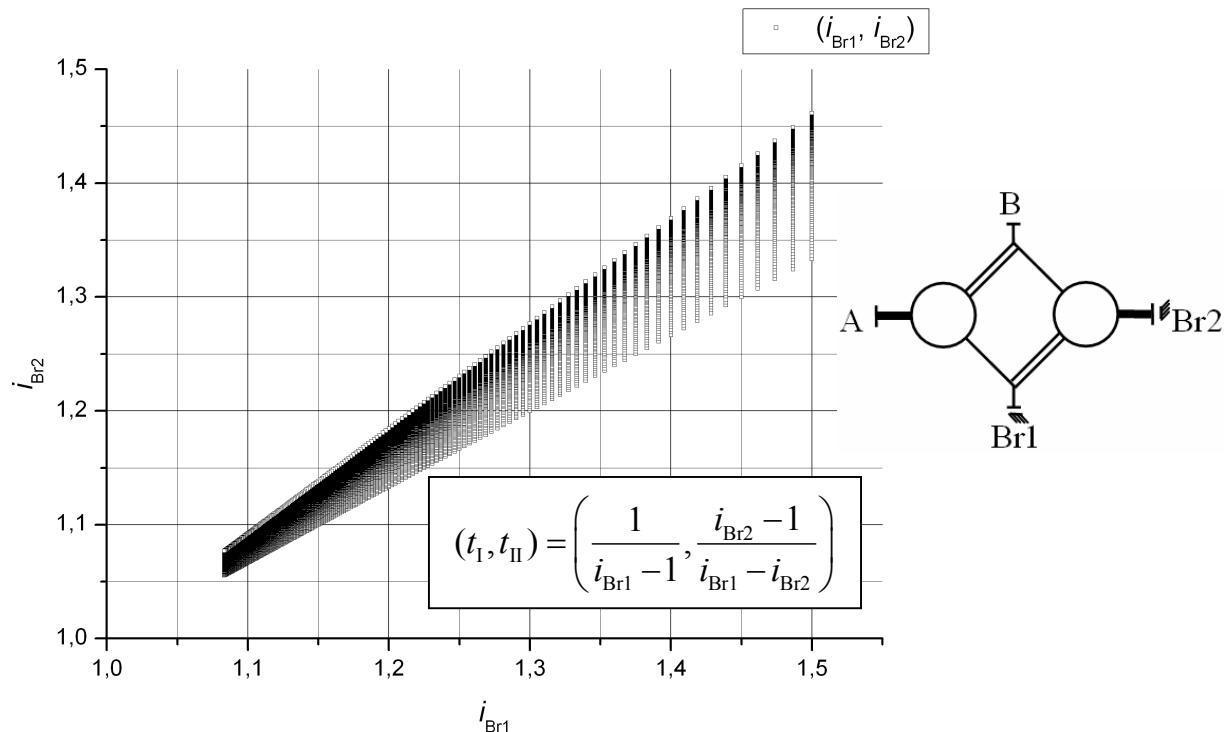
S34V2



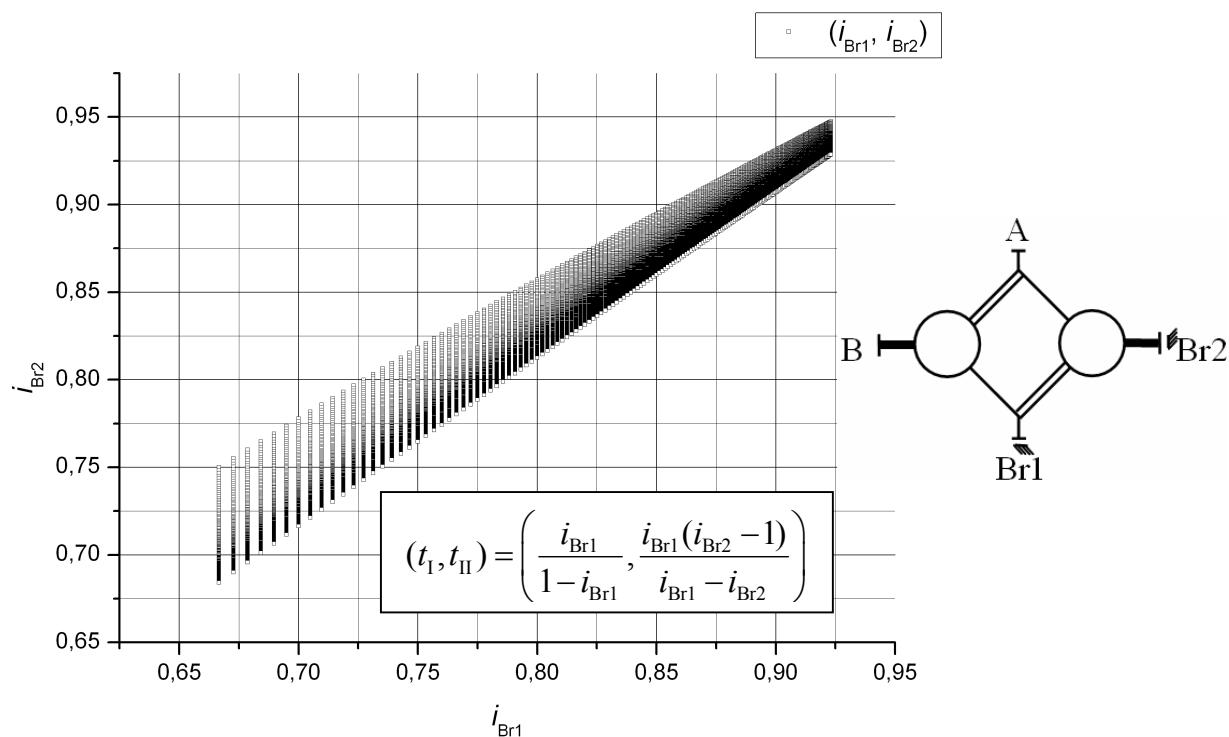
S34V8



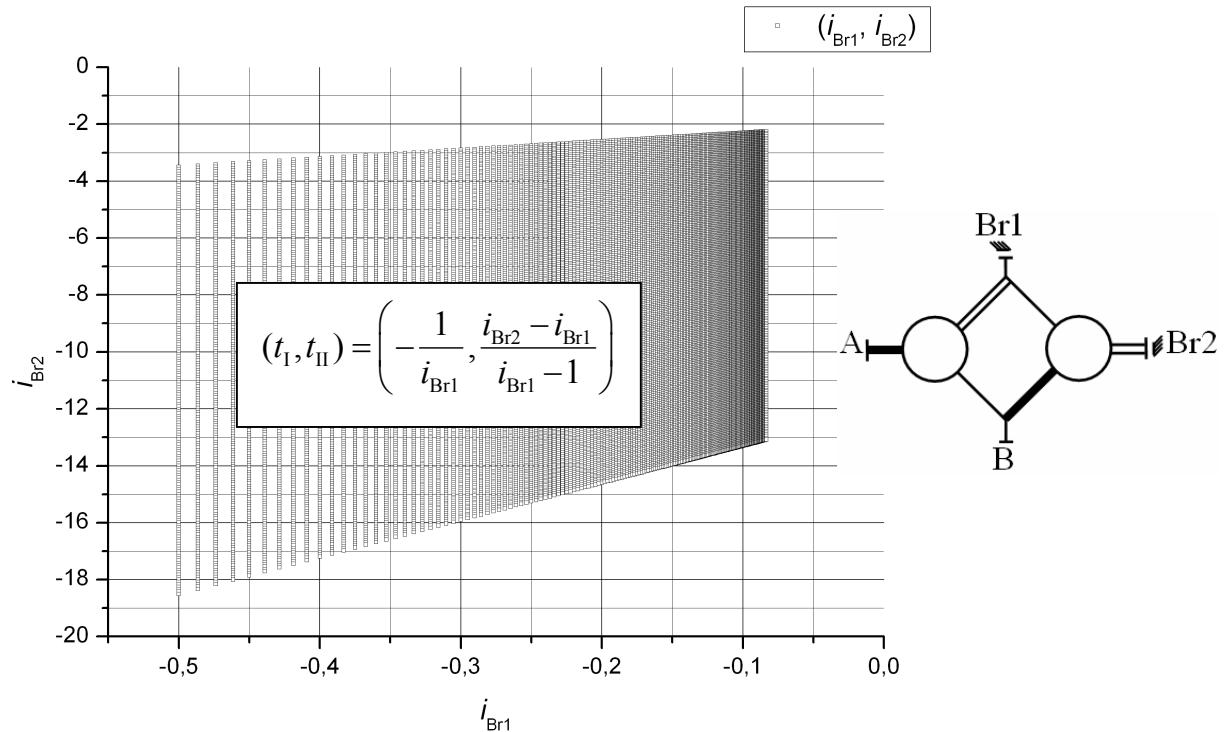
S34V3



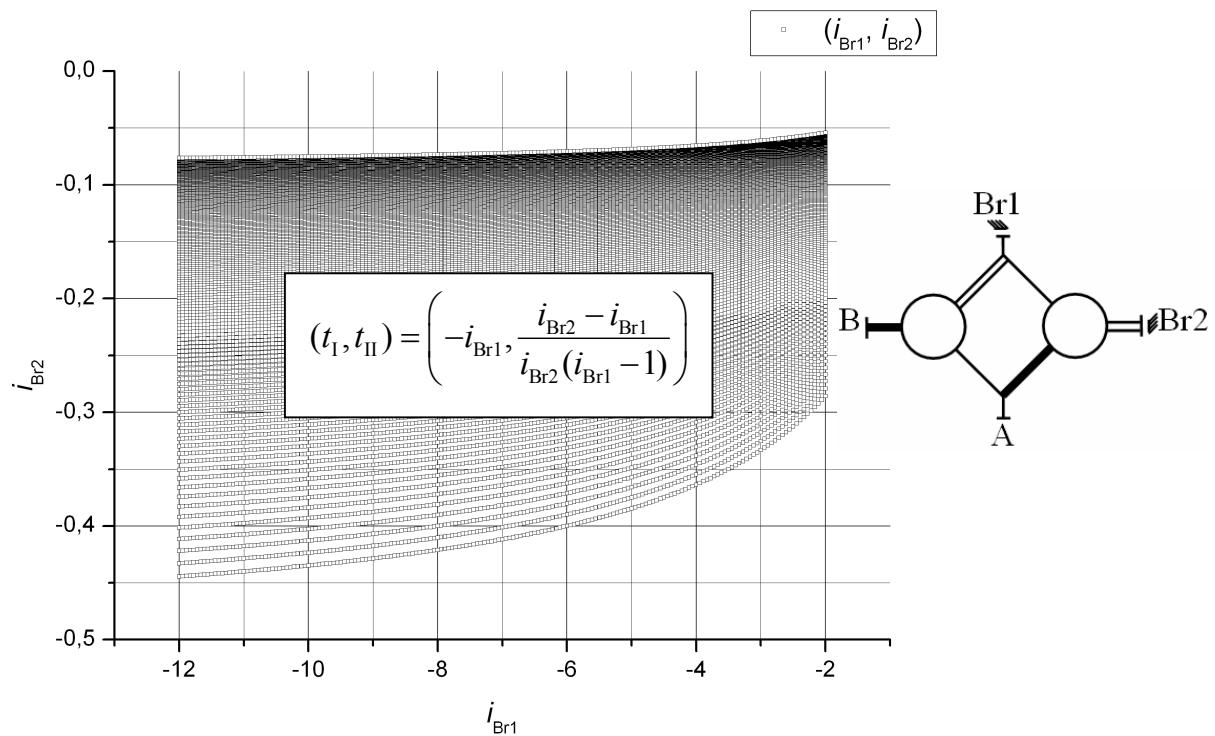
S34V9



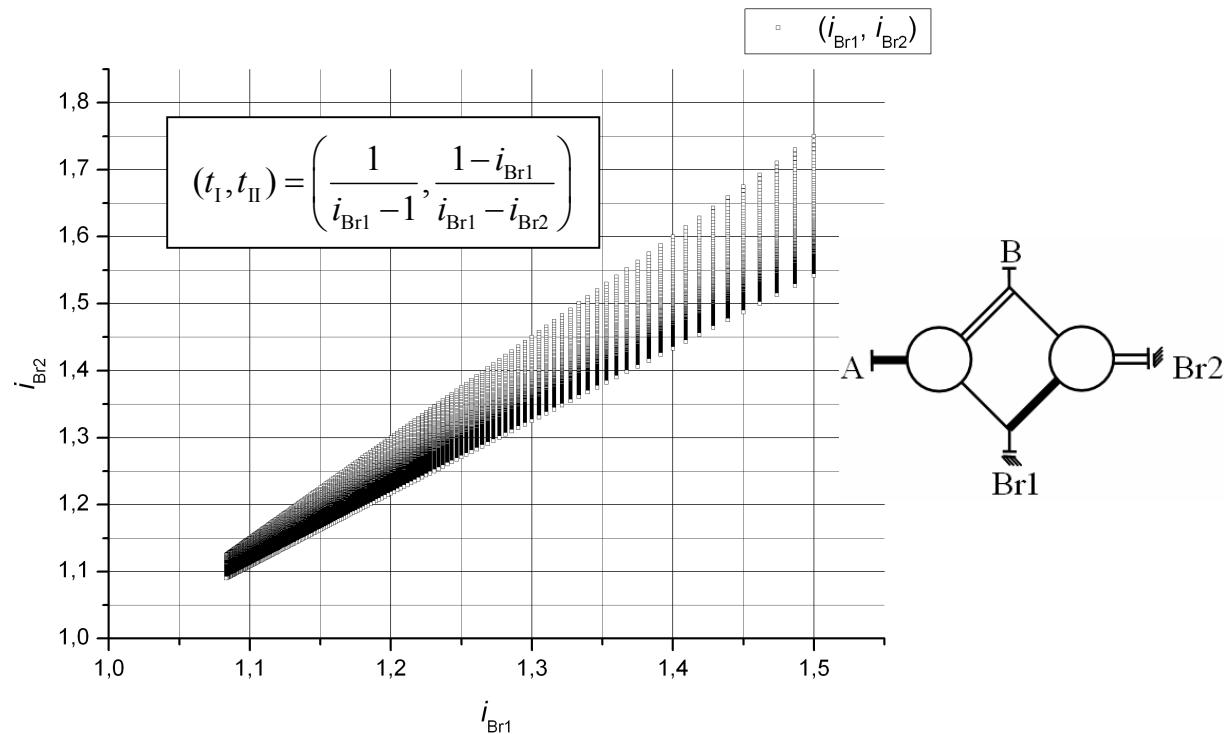
S35V2



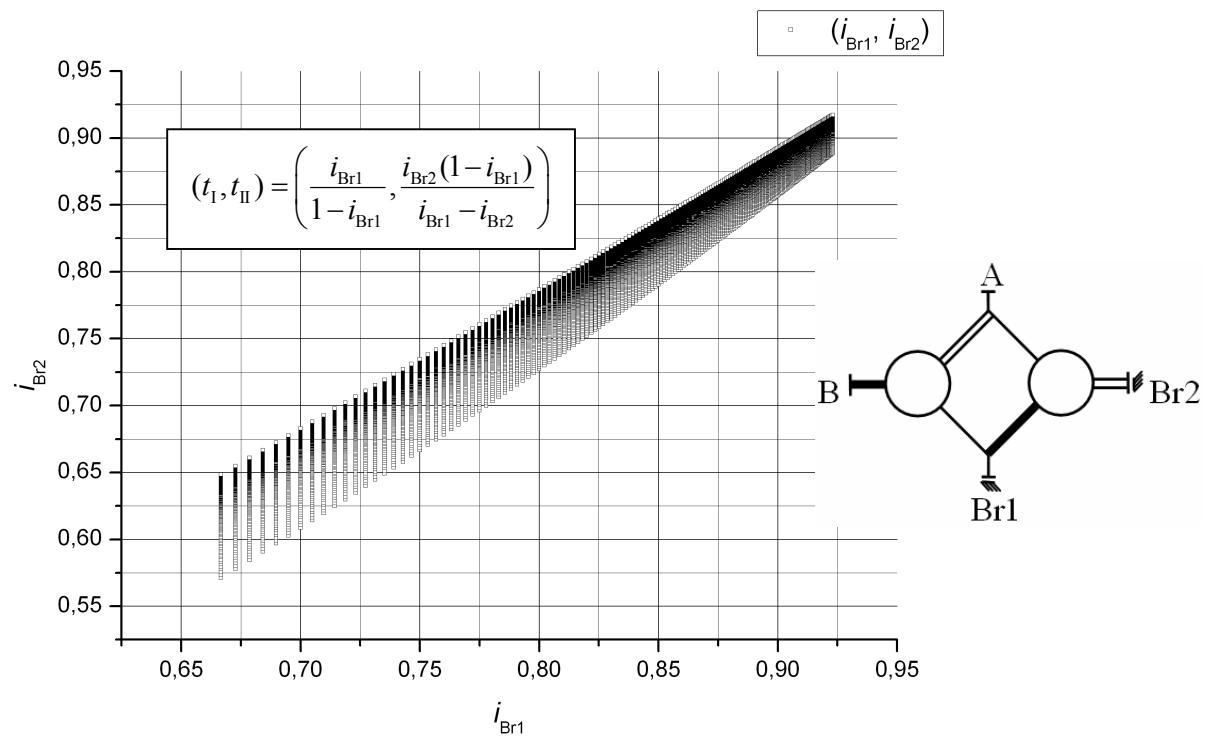
S35V8



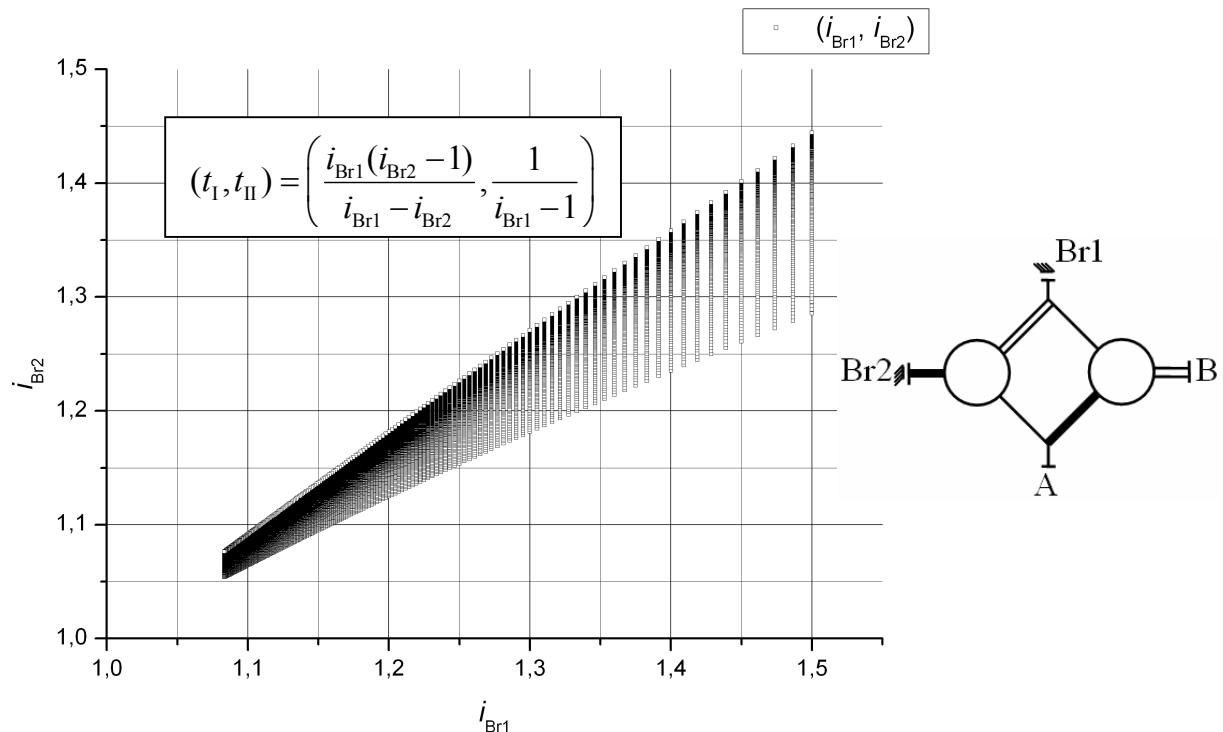
S35V3



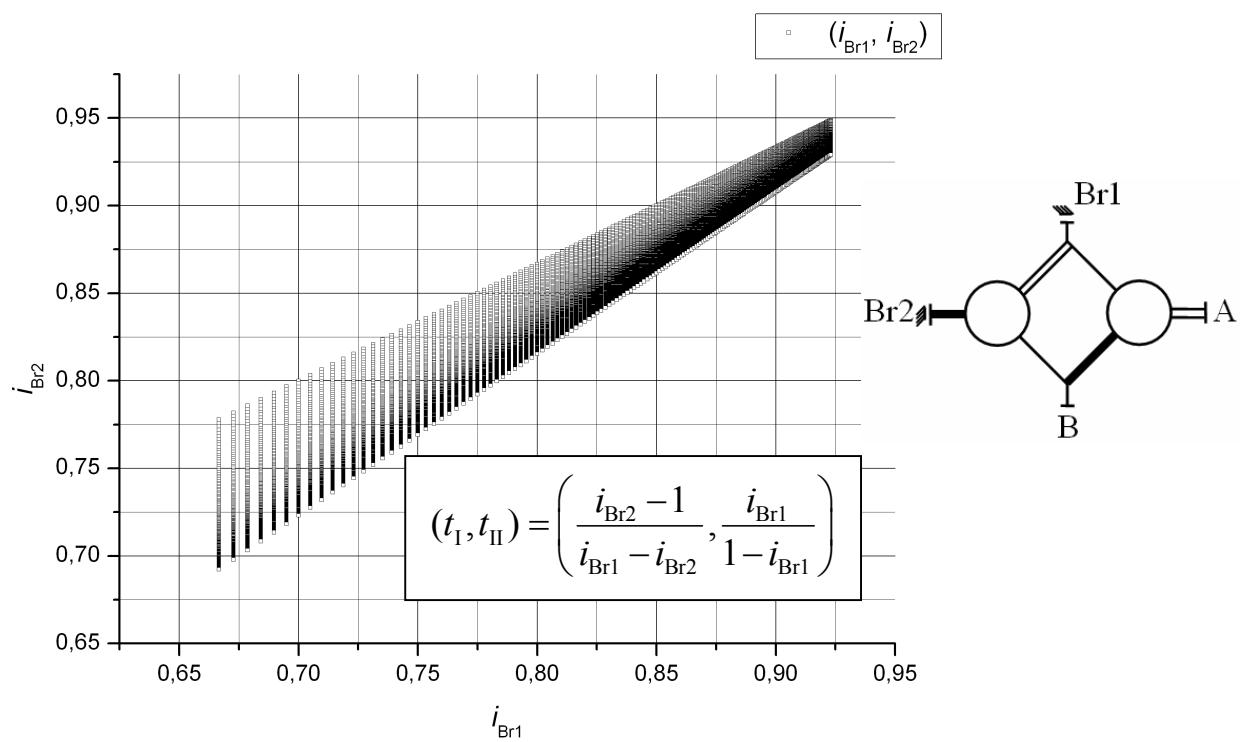
S35V9



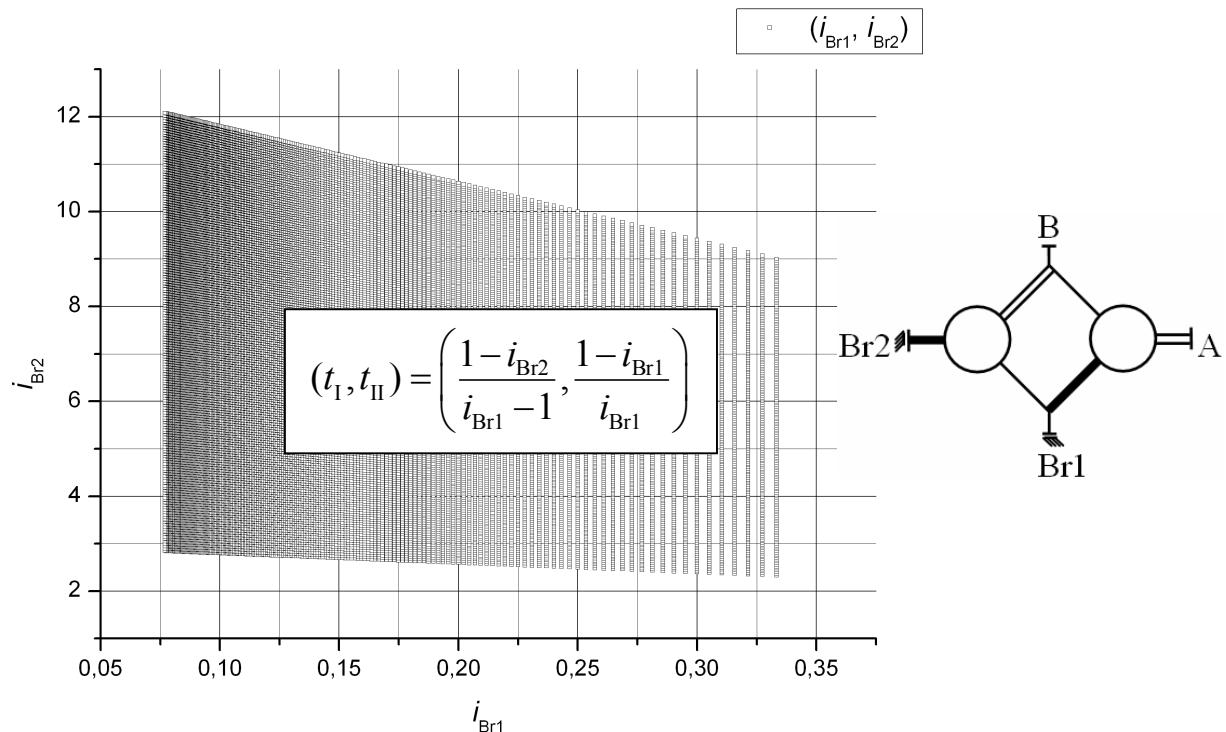
S35V4



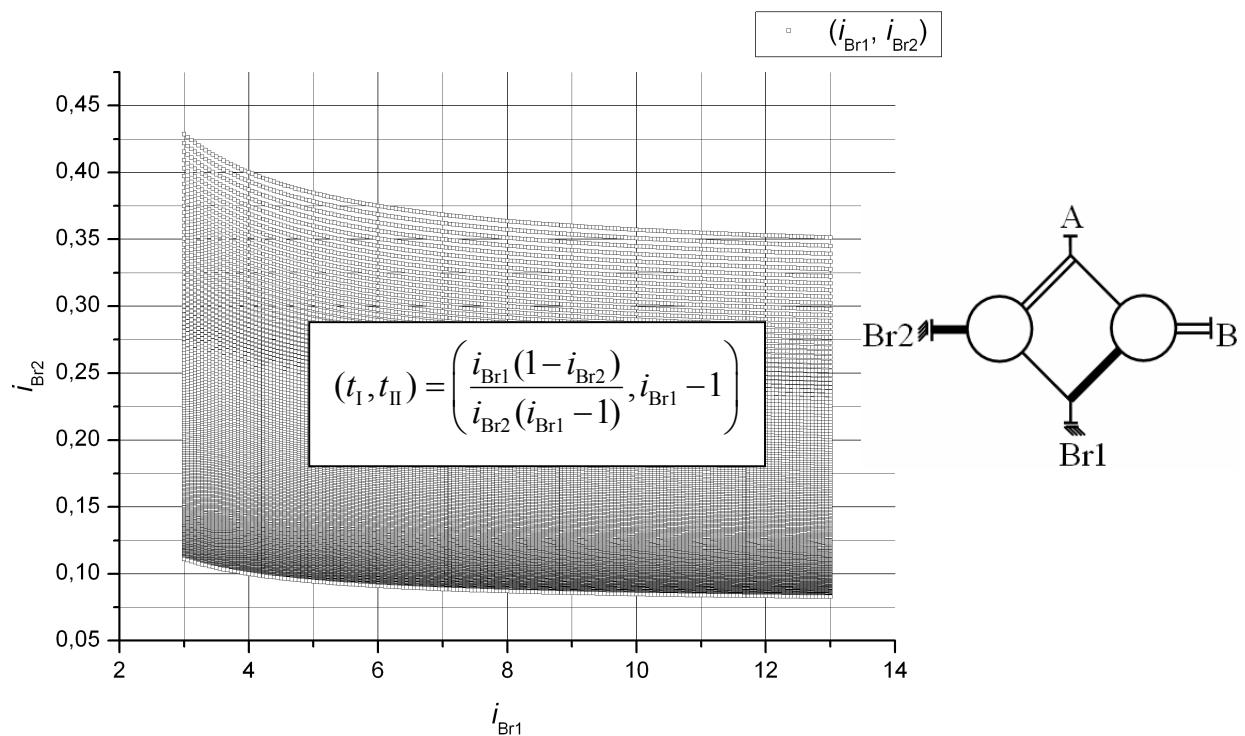
S35V10



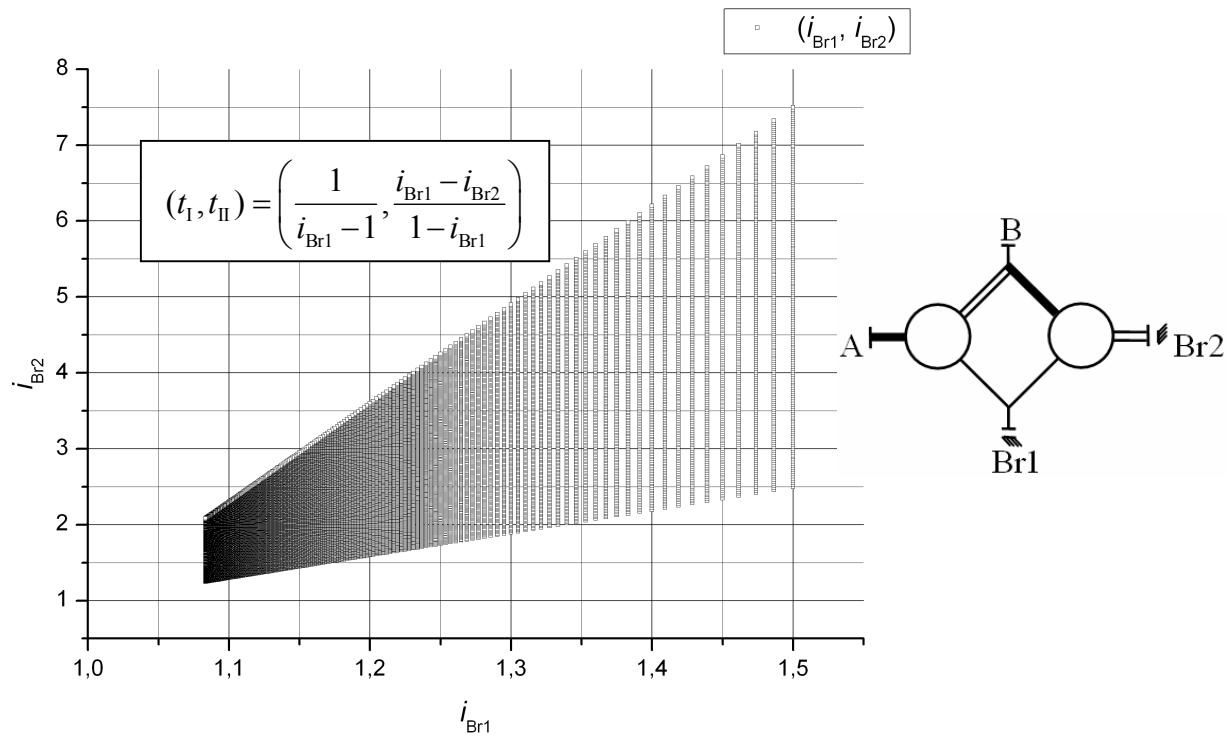
S35V11



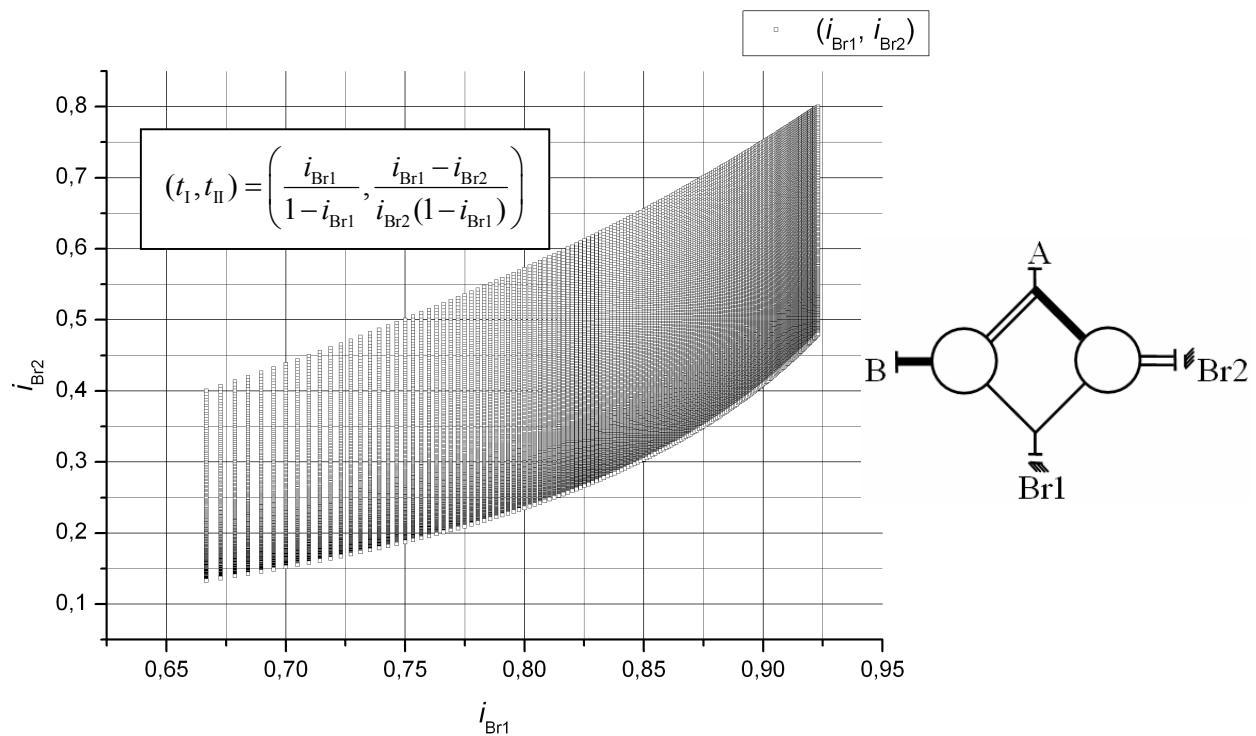
S35V5

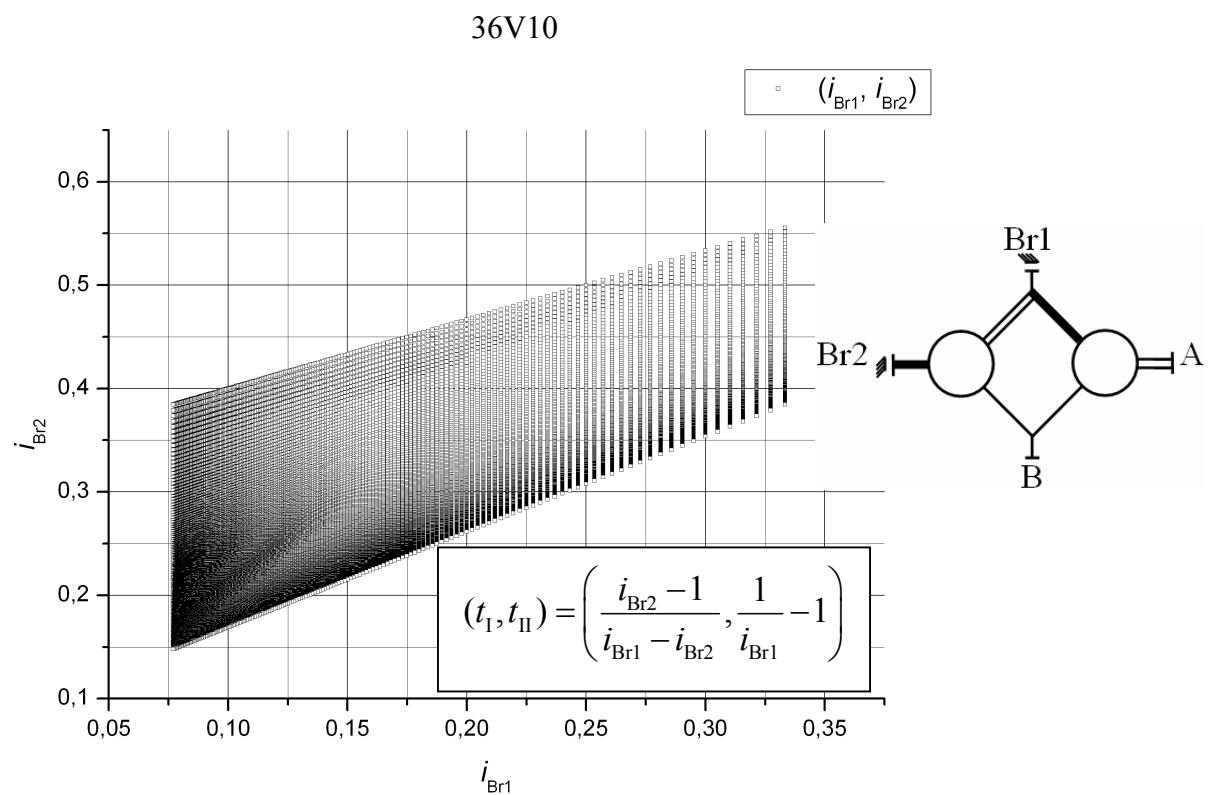
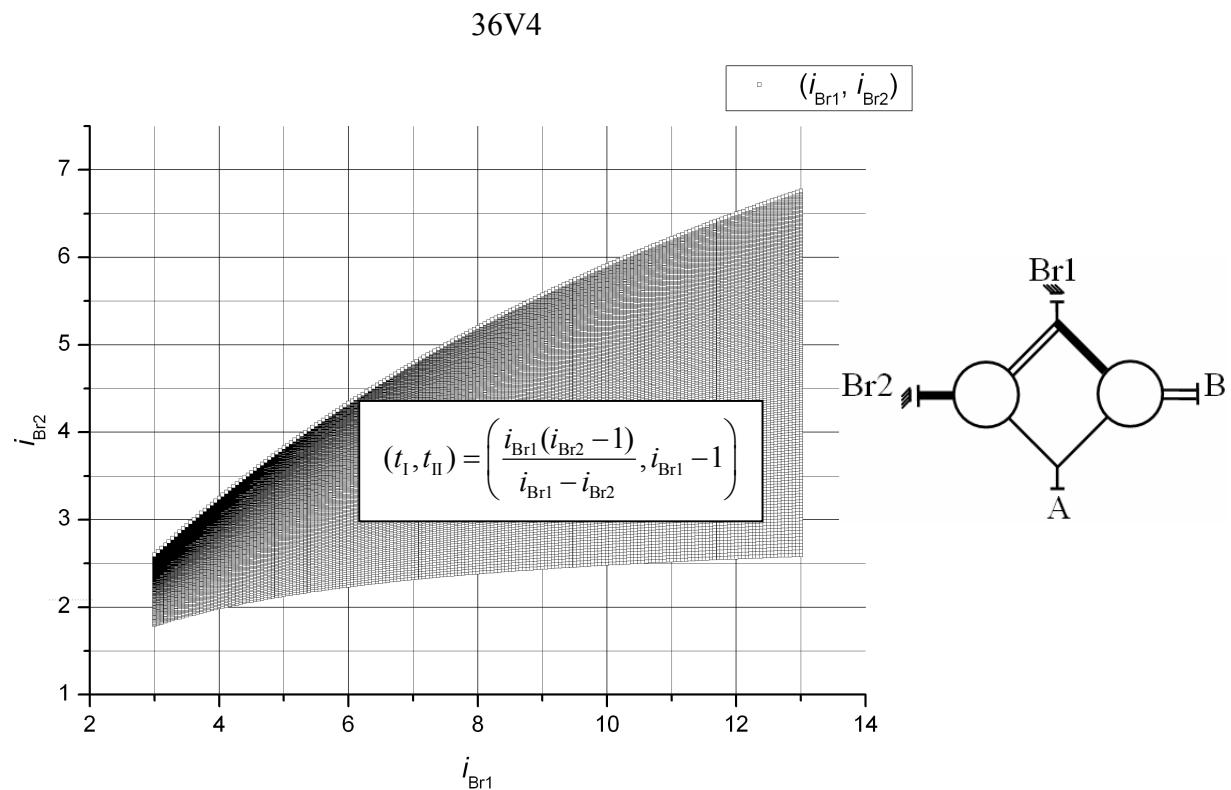


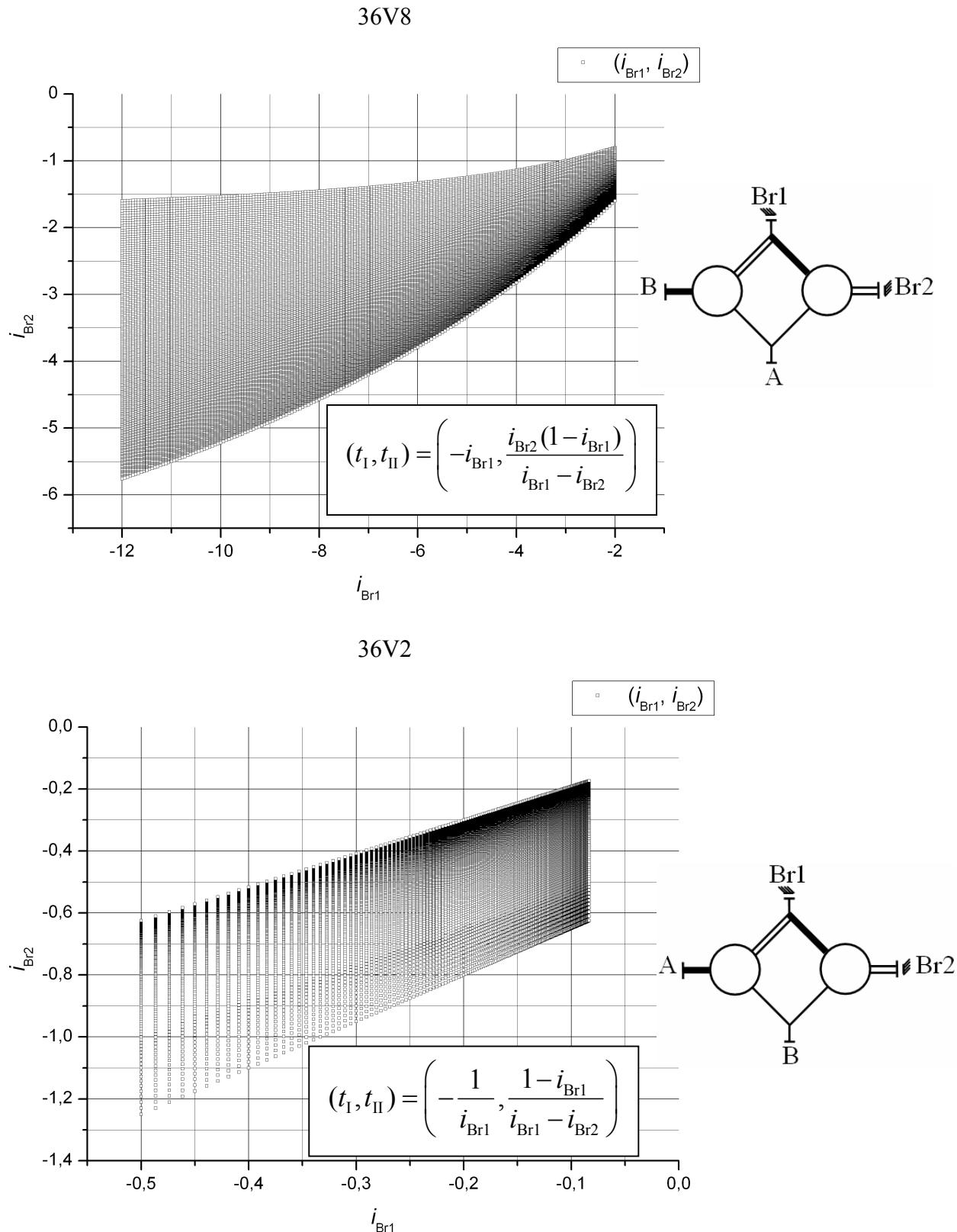
36V3



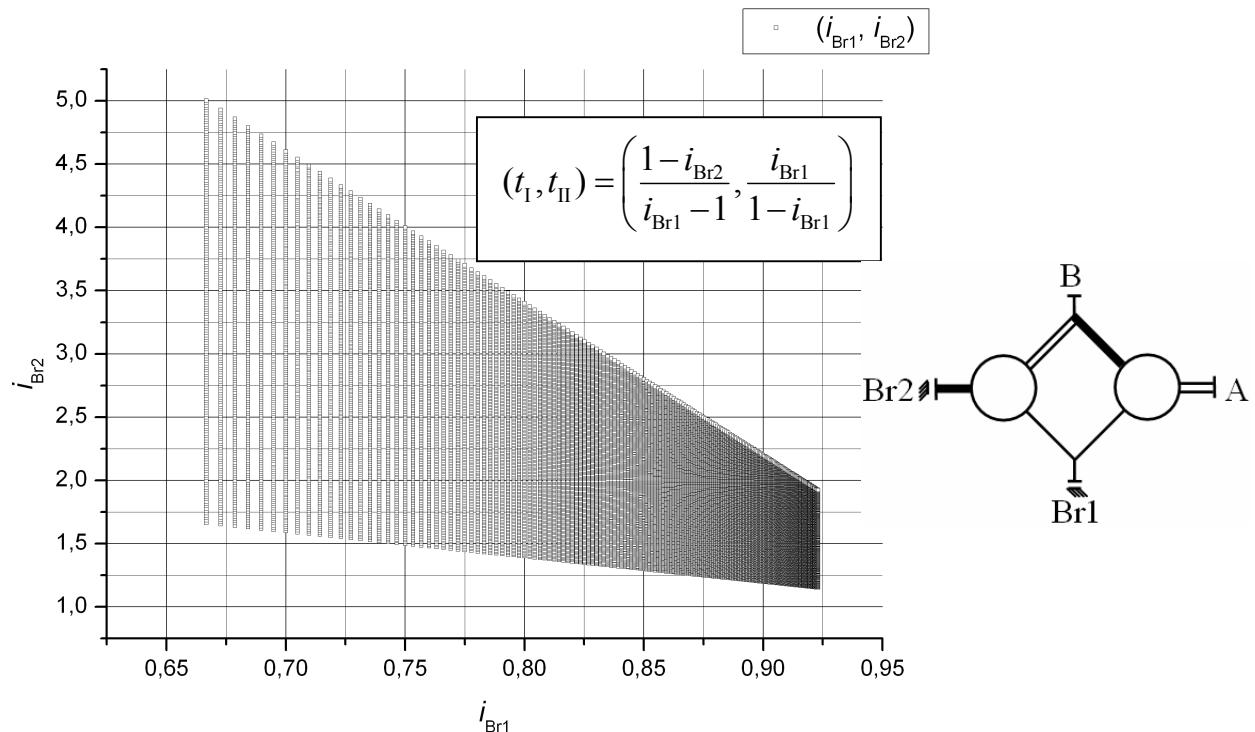
36V9



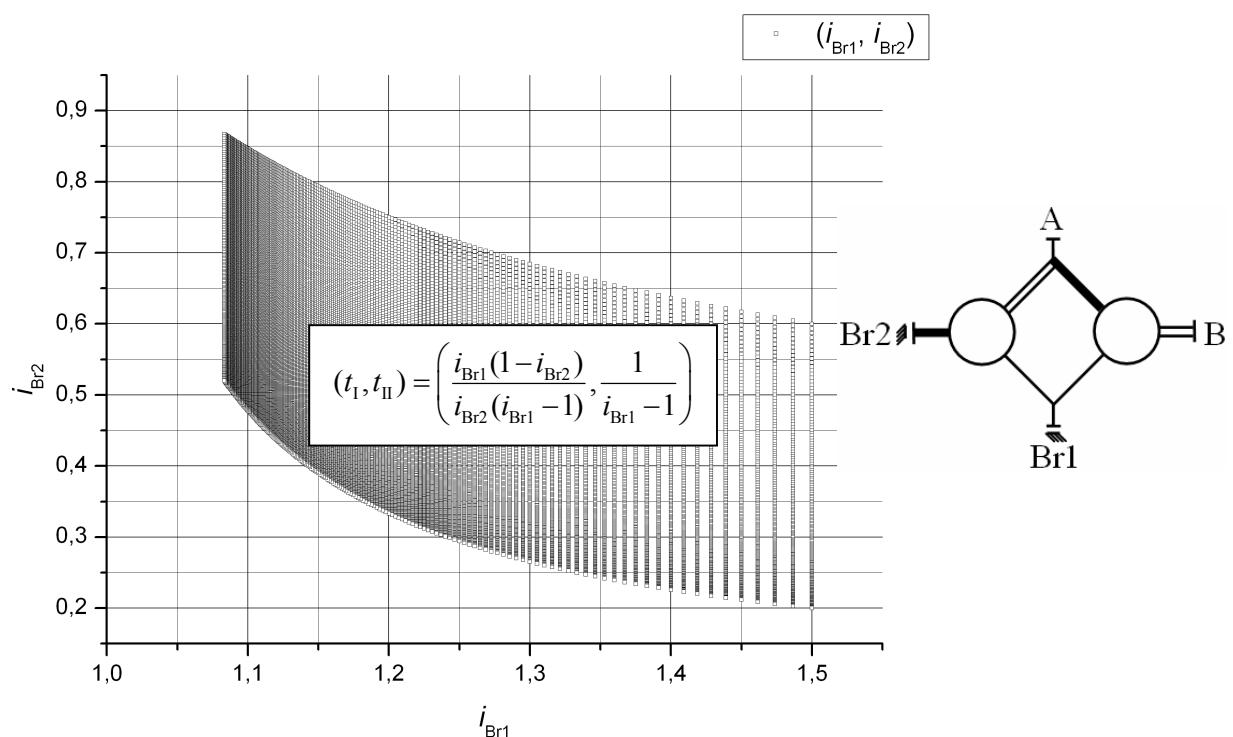




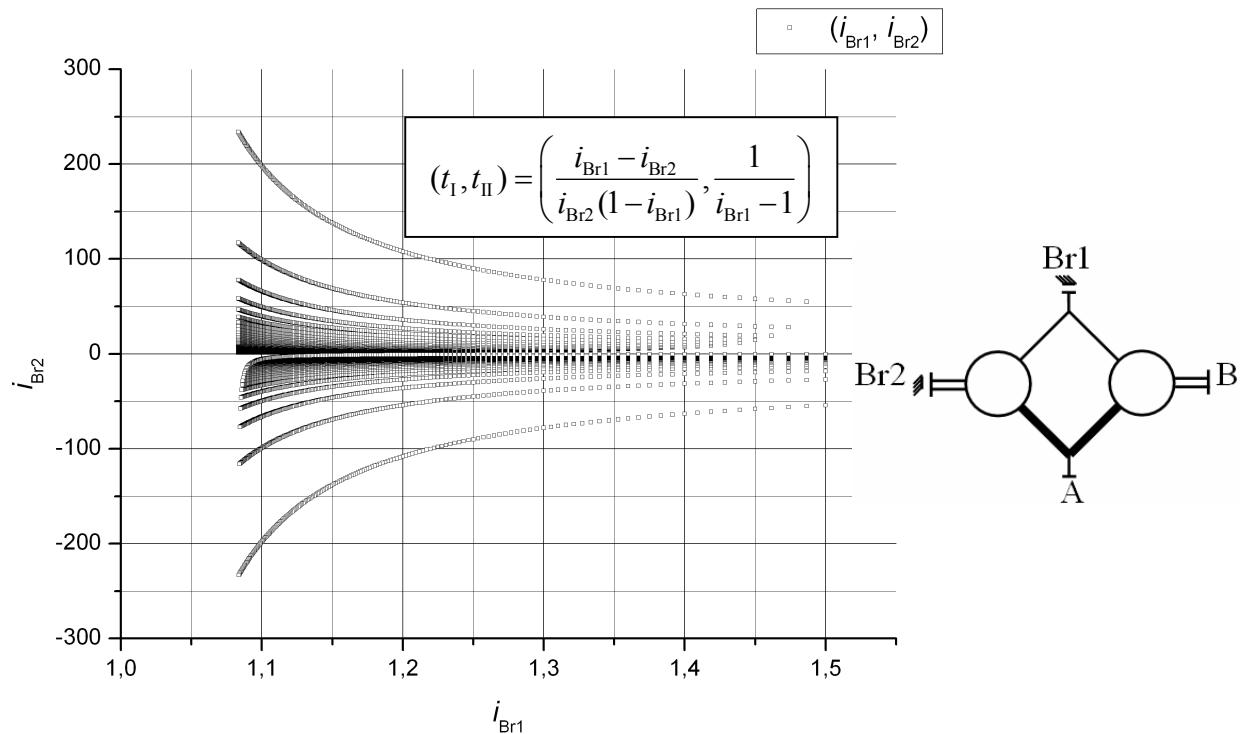
36V11



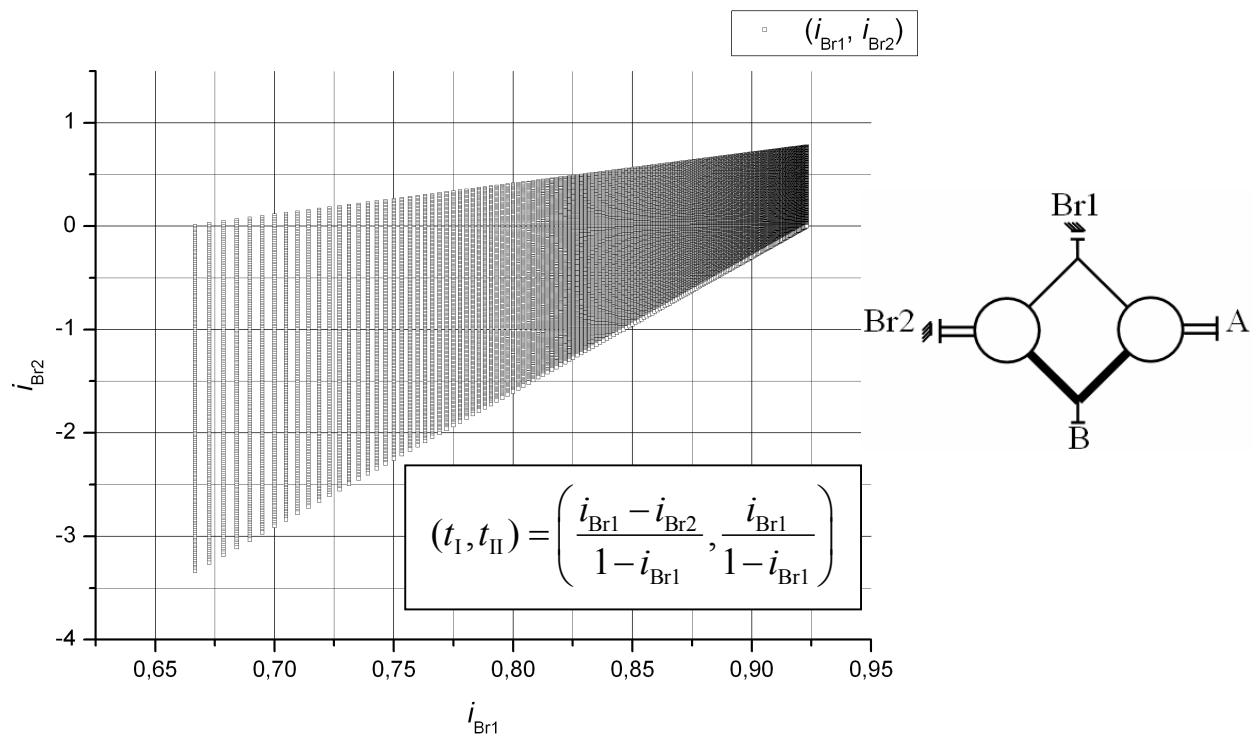
36V5



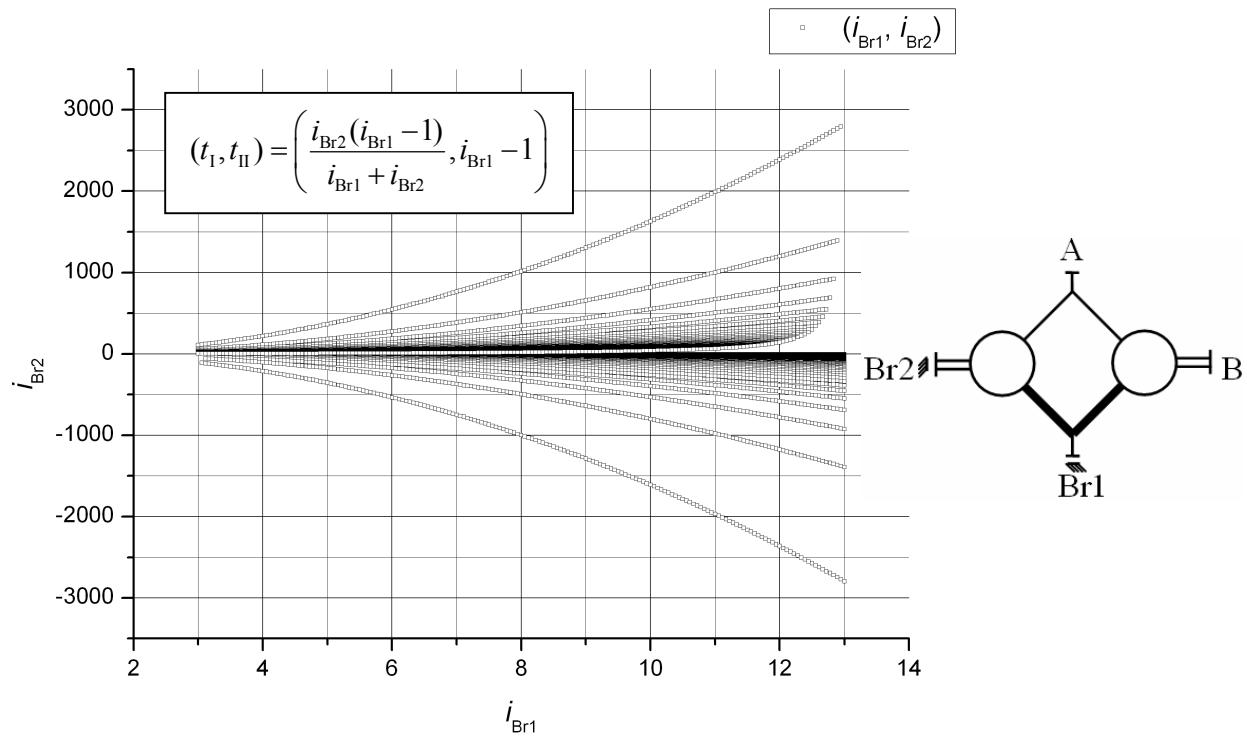
55V4



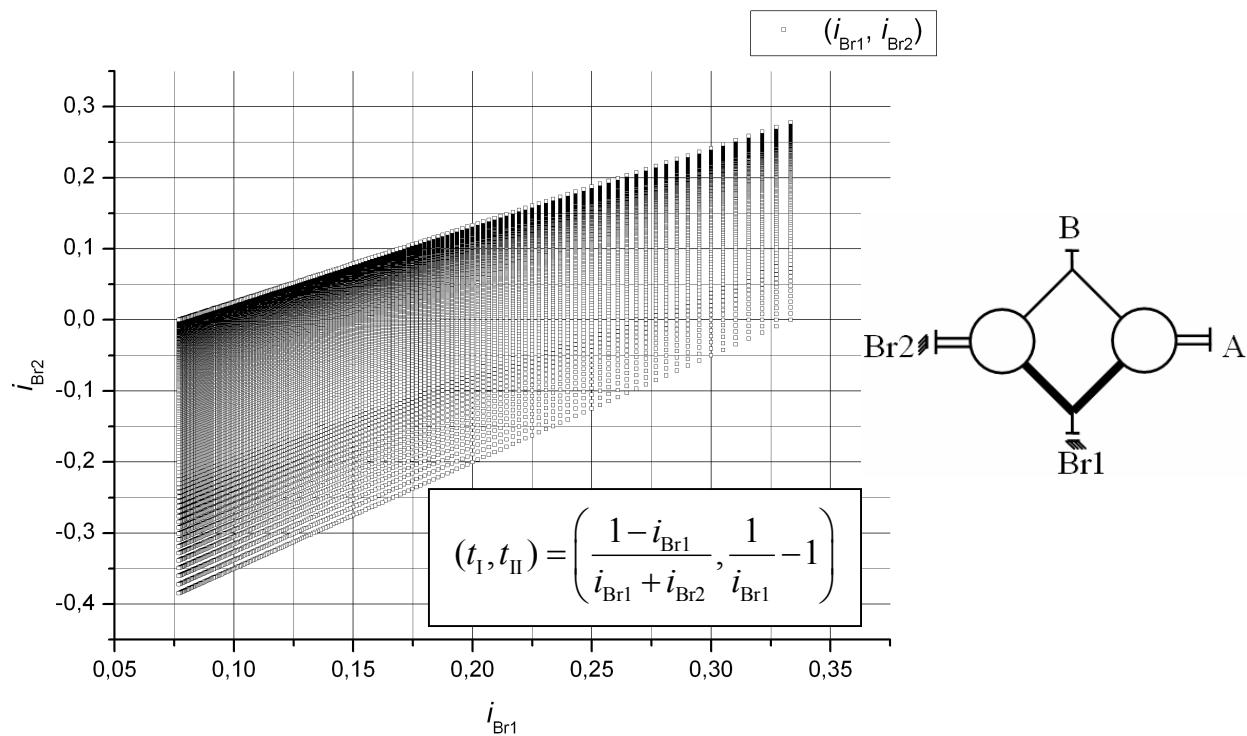
55V10

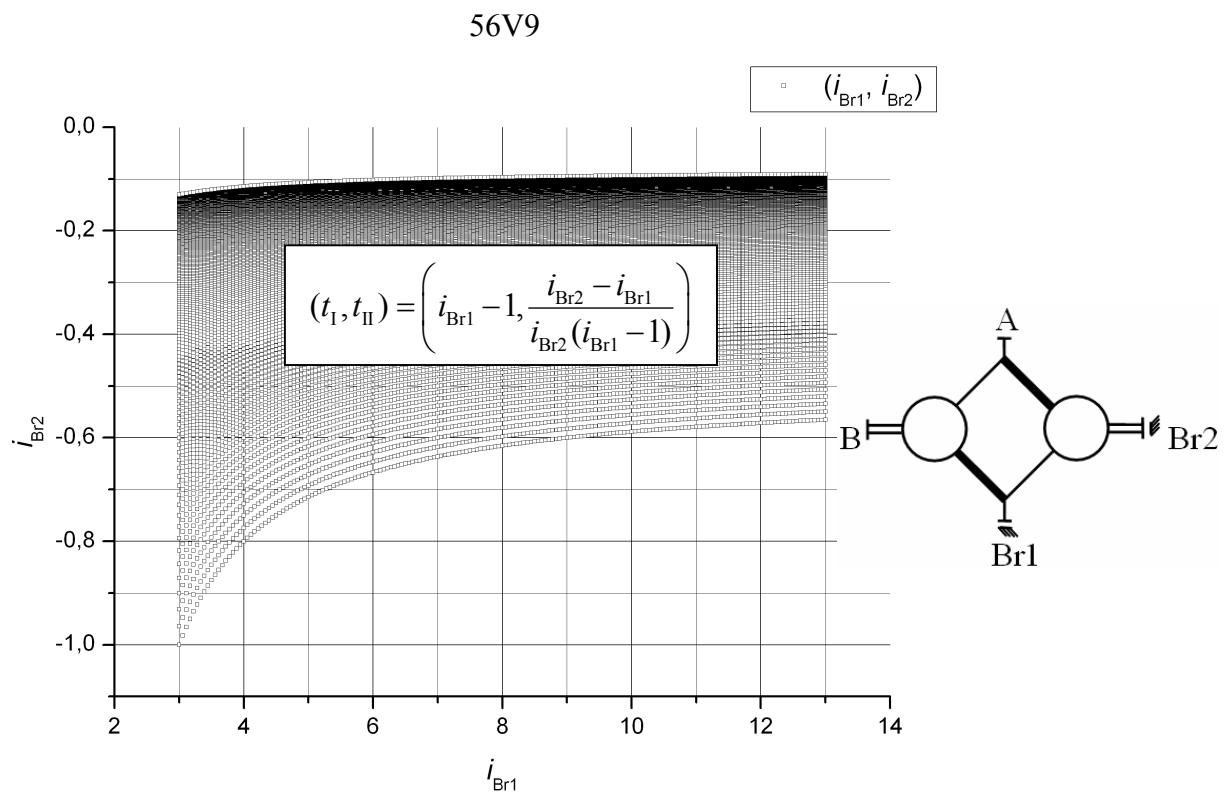
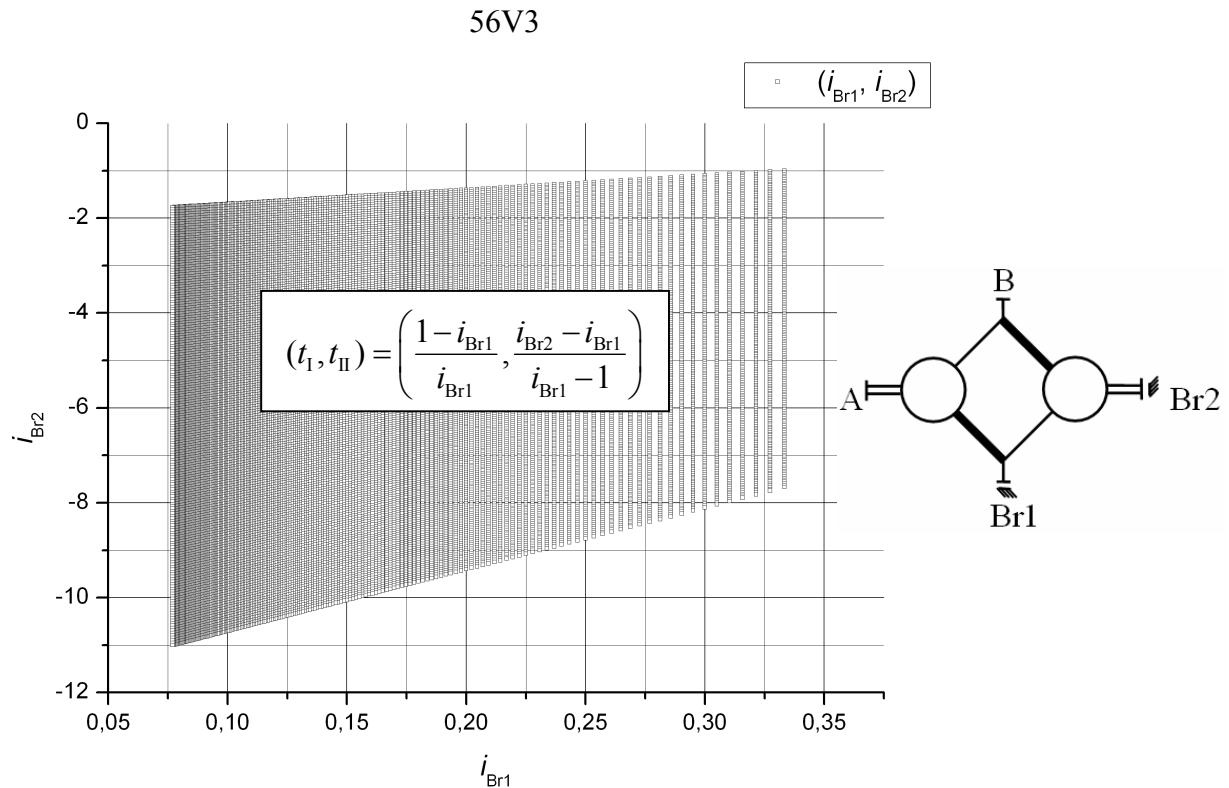


55V5

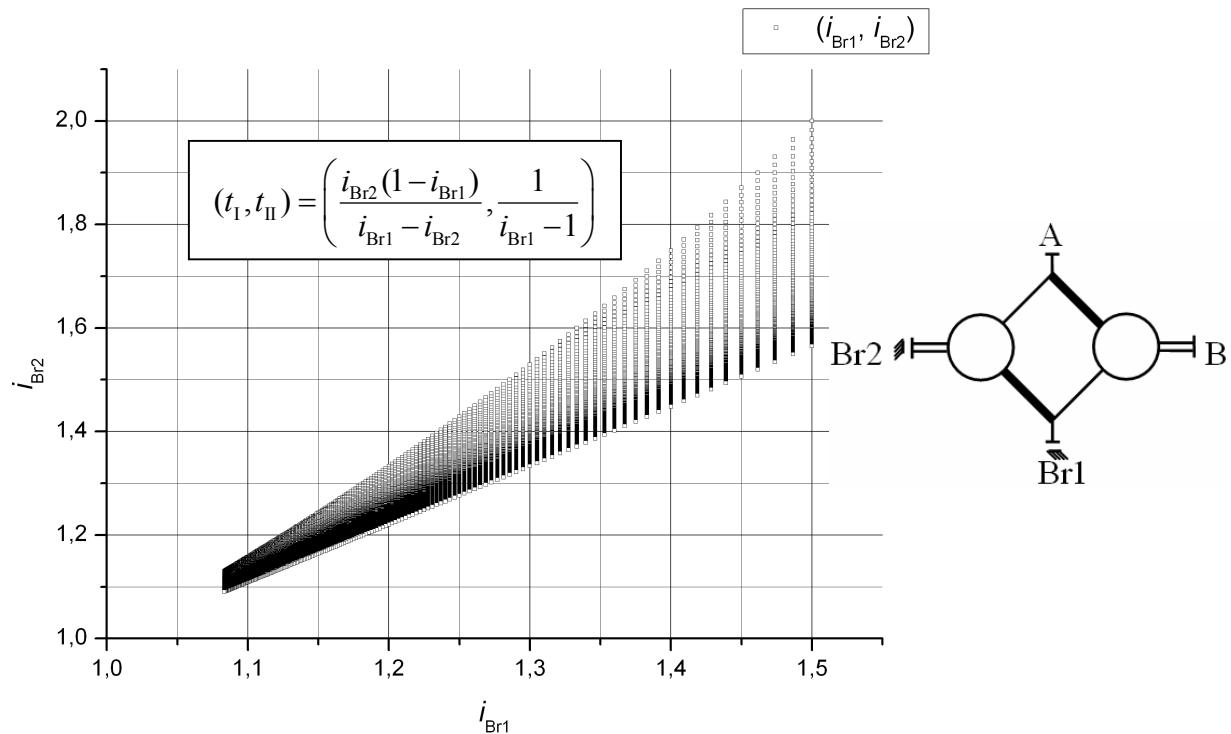


55V11

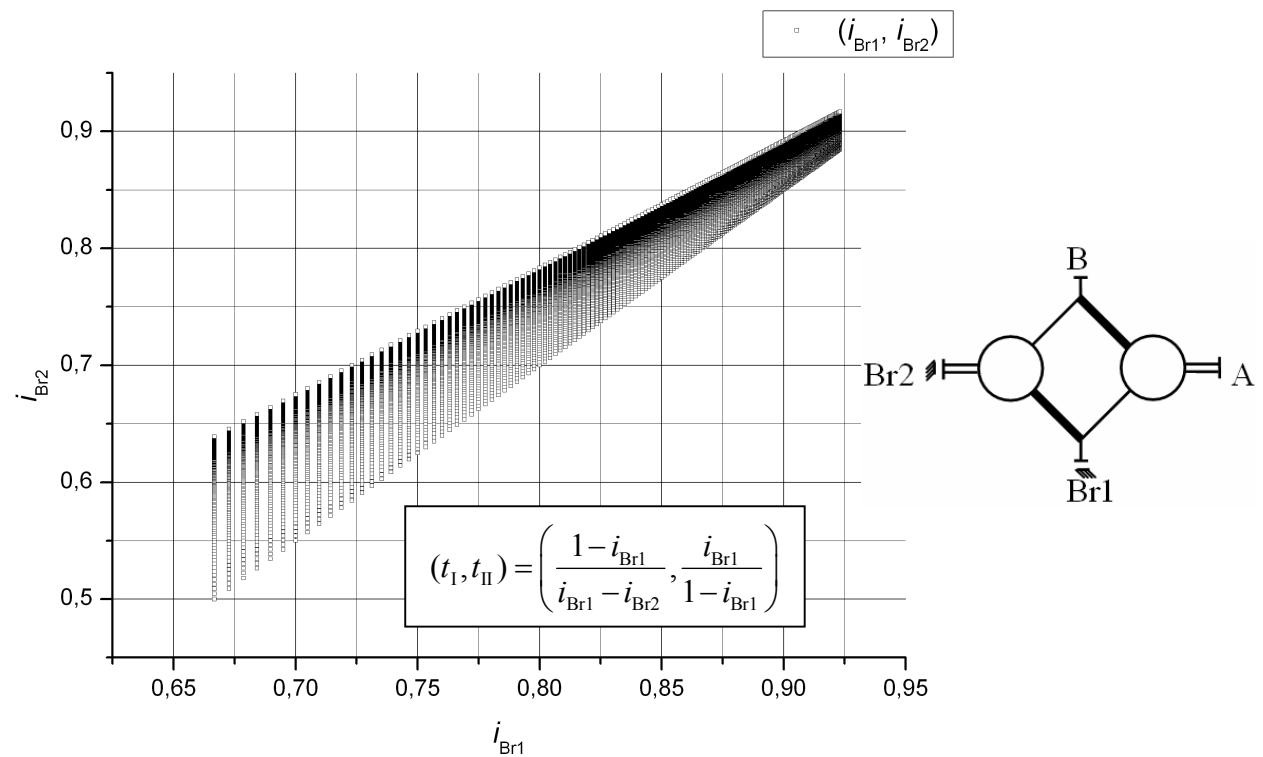




56V5



56V11





## ŽIVOTOPIS

Sanjin Troha je rođen 30. siječnja 1973. g. u Rijeci. Nakon mature 1991. g. i stjecanja zvanja strojarskog tehničara upisuje se na Tehnički fakultet u Rijeci gdje diplomira 1997. g. na konstrukcijskom smjeru sveučilišnog studija strojarstva. Od 02. studenog 1998. g. zaposlen je na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci kao stručni suradnik na Zavodu za konstruiranje u strojarstvu gdje sudjeluje u provođenju nastave iz kolegija u okviru Katedre za inženjersku grafiku.

Poslijediplomski sveučilišni studij strojarstva za stjecanje magisterija znanosti upisuje 1998. g. na Tehničkom fakultetu u Rijeci (smjer - Konstruiranje u strojarstvu). Na doktorski studij istog smjera prelazi krajem 2003. g.

Za vrijeme rada na Tehničkom fakultetu sudjeluje na četiri znanstveno-istraživačka projekta iz područja koje obuhvaća problematiku prijenosnika snage.

Ima više objavljenih radova u domaćim i stranim zbornicima i časopisima. U okviru programa CEEPUS i međunarodne suradnje boravi u više navrata na Tehničkom sveučilištu u Sofiji i Sveučilištu kemijske tehnologije i metalurgije u Sofiji. Od 2004. g. istraživački rad mu je usmjeren na problematiku složenih planetnih pretvarača.

Od 20. srpnja 2006. g. radi u zvanju asistenta na Zavodu za konstruiranje u strojarstvu gdje sudjeluje u provođenju nastave iz kolegija u okviru Katedre za inženjersku grafiku.

Služi se njemačkim, engleskim, bugarskim i ruskim jezikom.