

Probe zur Lösung der Berechnungsbeispiele BB_18.x:

Allgemeine Hinweise:

Die Lösungen der Berechnungsbeispiele 18.x wurden mit einem (für diese Zwecke selbst entwickelten) **MATHEMATICA**-Programm getestet (siehe nachfolgende Tabellen).

Es berechnet für ein Dreiphasensystem mit einer Verbraucher-Sternschaltung die Leiterströme und für ein Dreiphasensystem mit einer Verbraucher-Dreieckschaltung die Verbraucher-Strangströme und die Leiterströme (alles Effektivwerte). Danach werden für alle drei Bezugsphasen die von einer ARON-Schaltung angezeigten Wirkleistungen ermittelt.

Zum Vergleich bzw. zur Absicherung der in den Aufgabenstellungen geforderten Probe(n) berechnet das Programm außerdem die komplexen Leistungen der drei Verbraucherstränge und die komplexen Leistungen der drei Generatorstränge.

Eine zusätzliche Simulation der Schaltungen der BB 18.x mit **PSpice** soll eine weitere Kontrolle der Lösungen ermöglichen und den Bearbeiter der Berechnungsbeispiele (**nach** dem Durchrechnen) zum Nachvollziehen dieser Simulationsergebnisse anregen.

Zur Simulation wurde der Dreiphasengenerator V3Phase verwendet. Da dieser Generator nicht AC-Sweep-fähig ist, können die Messgeräte AC-Ameter und AC-Vmeter leider nicht eingesetzt werden. Die angewendete Transienten-Analyse liefert eine Information über den Maximalwert der Ströme und über den zeitlichen Versatz des Nulldurchgangs relativ zum betrachteten Bezugszeitpunkt. Daraus können die Nullphasenwinkel der Ströme berechnet werden.

Um die ständige Umrechnung zwischen Maximalwert und Effektivwert zu vermeiden, wurden die Maximalwerte ($U_{S,max} = \hat{U}_S$) der Generator-Strangspannungen als Effektivwert ($U_{S,ers}$) ausgeführt. Damit können die im Ergebnis der Transienten-Analyse angezeigten Maximalwerte der simulierten Ströme als Effektivwerte aufgefasst werden (siehe Bild 18.0).

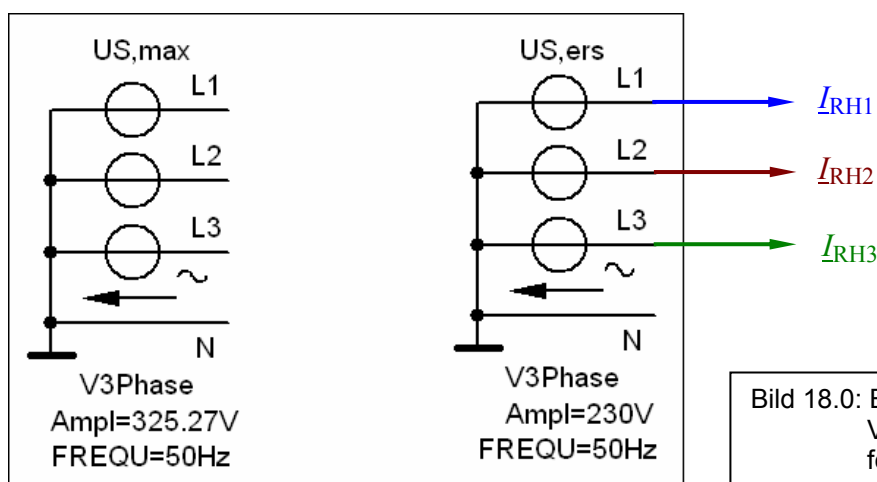


Bild 18.0: Einstellung des Generators V3Phase zur Ermittlung der folgenden Simulationsergebnisse

BB 18.1: Verbraucher-Sternschaltung – MP unterbrochen

Tabelle BB_18.1_1: Legende zur Tabelle BB_18.1_2

\underline{Z}_{1M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{2M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{3M} (KF) in Ω
$ \underline{Z}_{1M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{2M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{3M} $ in Ω
\underline{Z}_{1M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{2M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{3M} (Phasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_1 (KF) in V·A	\underline{S}_2 (KF) in V·A	\underline{S}_3 (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.1_2: Lösungsübersicht zum BB_18.1

Rechnung stimmt !

105,8	52,9	26,45
105,8	52,9	26,45
0°	0°	0°
2,806 – j 0,54	– 0,935 – j 4,861	–1,871 + j 5,401
2,858	4,95	5,716
–11°	–101°	109°
1296,246	1728,328	3024,574
864,163	2160,41	3024,574
1080,204	1944,369	3024,574
864,163 – j 2,842	1296,246 + j 0	864,164 + j 0
3024,574 – j 2,842	3024,574	
648,123 + j 124,731	1080,205 – j 374,194	1296,246 + j 249,464
3024,574 – j 5,684	3024,574	

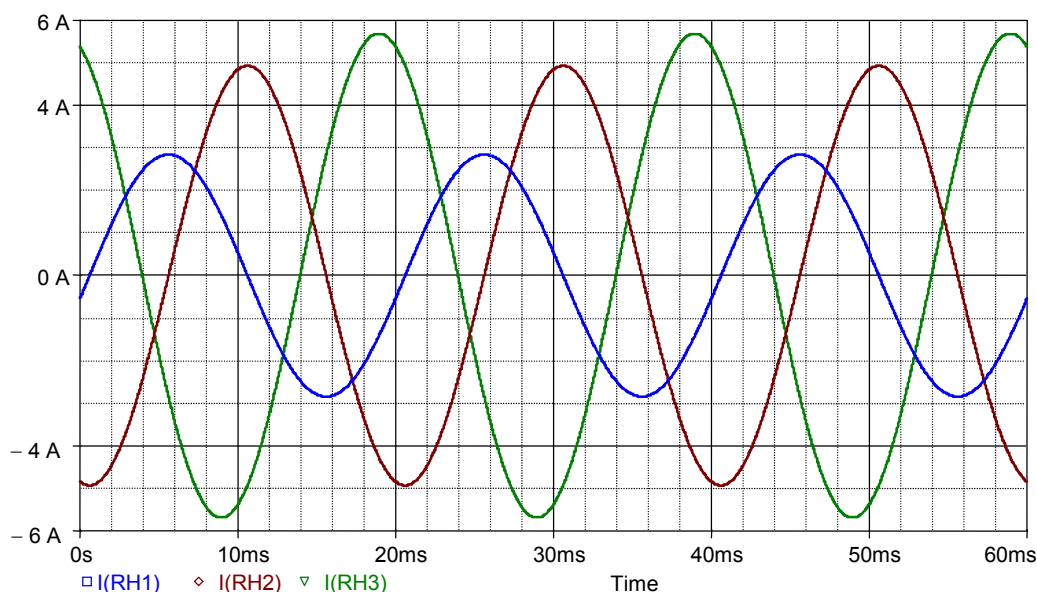


Bild BB_18.1_1: PSpice-Simulation zum BB_18.1 (Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.2.a: Verbraucher-Dreieckschaltung → Sternschaltung (Stern gerechnet)

Tabelle BB_18.2_1: Legende zur Tabelle BB_18.2_2

\underline{Z}_{1M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{2M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{3M} (KF) in Ω	
$ \underline{Z}_{1M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{2M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{3M} $ in Ω	
\underline{Z}_{1M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{2M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{3M} (Phasenwinkel)	
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A	
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A	
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)	
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$	
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$	
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$	
\underline{S}_1 (KF) in V·A	\underline{S}_2 (KF) in V·A	\underline{S}_3 (KF) in V·A	
ΣP_V in W	ΣQ_V in var		
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A	siehe Verbraucherstränge
ΣP_G in W	ΣQ_G in var		

Tabelle BB_18.2_2: Lösungsübersicht zum BB_18.2.a

Rechnung stimmt !

$40 + j 30$	$40 + j 30$	$40 + j 30$
50	50	50
$36,9^\circ$	$36,9^\circ$	$36,9^\circ$
$3,695 - j 2,771$	$- 4,248 - j 1,814$	$0,552 + j 4,586$
4,619	4,619	4,619
$-36,9^\circ$	$-156,9^\circ$	$83,1^\circ$
1834,255	725,743	2560
725,743	1834,256	2560
1834,255	725,744	2560
$853,333 + j 640$	$853,333 + j 640$	$853,333 + j 640$
$2560 + j 1920$	3200	

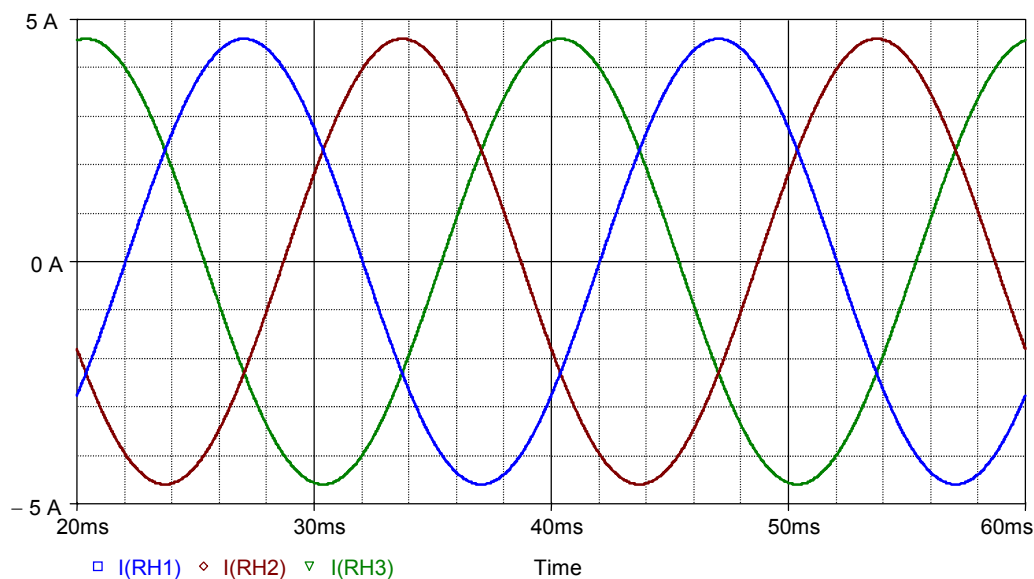


Bild BB_18.2_1: PSPICE-Simulation zum BB_18.2.a

(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.2.b: Verbraucher-Dreieckschaltung → L3 unterbrochen

Tabelle BB_18.2_3: Legende zur Tabelle BB_18.2_4

\underline{Z}_{1M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{2M} (KF) in Ω	\underline{Z}_{3M} (KF) in Ω	
$ \underline{Z}_{1M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{2M} $ in Ω	$ \underline{Z}_{3M} $ in Ω	
\underline{Z}_{1M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{2M} (Phasenwinkel)	\underline{Z}_{3M} (Phasenwinkel)	
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A	
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A	
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)	
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$	
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$	
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$	
\underline{S}_1 (KF) in V·A	\underline{S}_2 (KF) in V·A	\underline{S}_3 (KF) in V·A	
ΣP_V in W	ΣQ_V in var		
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A	siehe Verbraucherstränge
ΣP_G in W	ΣQ_G in var		

Tabelle BB_18.2_4: Lösungsübersicht zum BB_18.2.b

Rechnung stimmt !

$40 + j 30$	$40 + j 30$	∞
50	50	50
$36,9^\circ$	$36,9^\circ$	$36,9^\circ$
$3,971 - j 0,478$	$-3,971 + j 0,478$	0
4	4	0
$-6,9^\circ$	$173,1^\circ$	120
1280	0	1280
1280	0	1280
1471,383	-191,384	1280
$917,127 + j 110,496$	$362,872 + j 849,504$	0
$1280 + j 960$	1600	

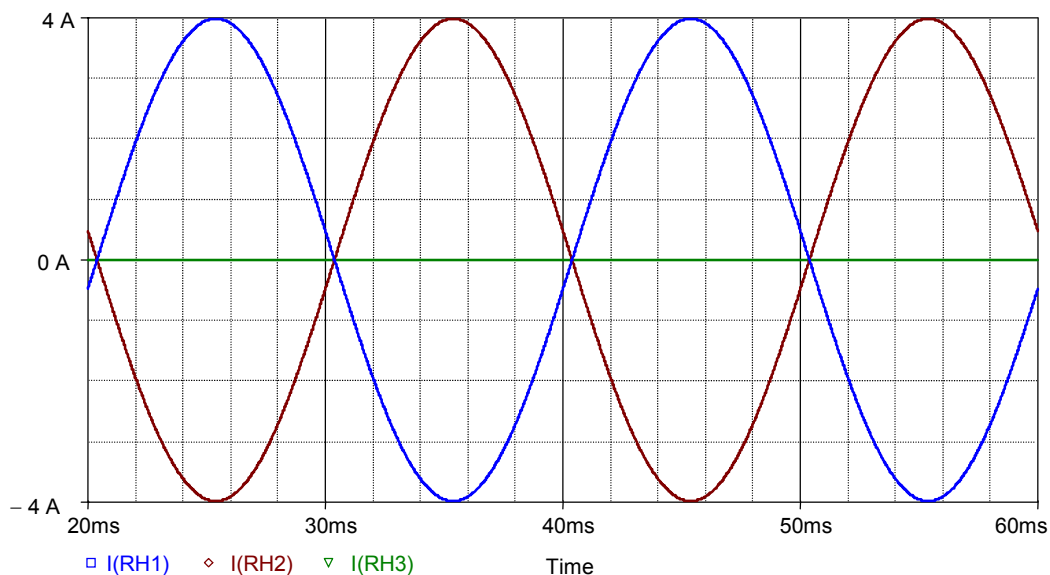


Bild BB_18.2_2: PSpice-Simulation zum BB_18.2.b

(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.3: Verbraucher-Dreieckschaltung

Tabelle BB_18.3_1: Legende zur Tabelle BB_18.3_2

\underline{I}_{12} (KF) in A	\underline{I}_{23} (KF) in A	\underline{I}_{31} (KF) in A
$ \underline{I}_{12} $ in A	$ \underline{I}_{23} $ in A	$ \underline{I}_{31} $ in A
\underline{I}_{12} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{23} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{31} (Nullphasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L2) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L3) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L1) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_{12} (KF) in V·A	\underline{S}_{23} (KF) in V·A	\underline{S}_{31} (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.3_2: Lösungsübersicht zum BB_18.3

Rechnung stimmt !

1,471 - j 0,629	✓	1,6 - j 0,8	✓	0,386 + j 0,914	✓
1,6	✓	1,789	✓	0,993	✓
- 23,1°	✓	- 26,6°	✓	67,1°	✓
1,086 - j 1,543	✓	0,129 - j 0,171	✓	- 1,214 + j 1,714	✓
1,886	✓	0,214	✓	2,101	✓
- 54,9°	✓	- 53,1°	✓	125,3°	✓
- 10,256		763,487		753,23	
67,534		685,696		753,23	
684,636	✓	68,595	✓	753,23	✓
384 + j 512	✓	320 - j 640	✓	49,23 + j 393,85	✓
753	✓	266	✓		
250,723 + j 356,283		19,446 - j 45,525		483,061 - j 44,913	
753		266			

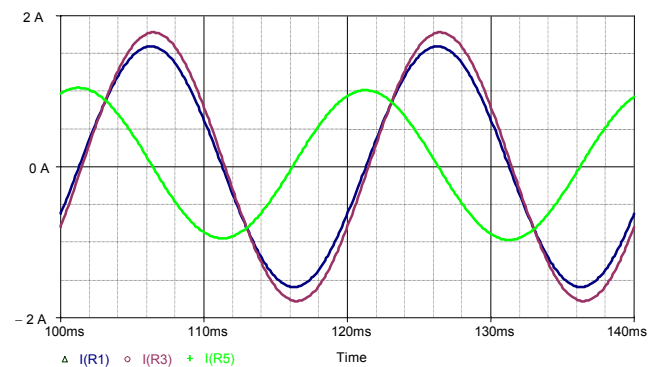
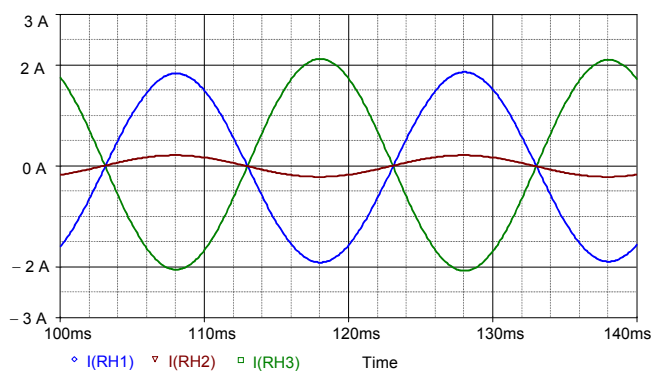


Bild BB_18.3_1: PSPICE-Simulation zum BB_18.3

links: Leiterströme

rechts: Verbraucher-Strangströme

(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.4: Verbraucher-Dreieckschaltung

Tabelle BB_18.4_1: Legende zur Tabelle BB_18.4_2

\underline{I}_{12} (KF) in A	\underline{I}_{23} (KF) in A	\underline{I}_{31} (KF) in A
$ \underline{I}_{12} $ in A	$ \underline{I}_{23} $ in A	$ \underline{I}_{31} $ in A
\underline{I}_{12} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{23} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{31} (Nullphasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L2) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L3) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L1) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_{12} (KF) in V·A	\underline{S}_{23} (KF) in V·A	\underline{S}_{31} (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.4_2: Lösungsübersicht zum BB_18.4

Rechnung stimmt !

1,732 + j	✓	4	✓	-1,571 + j 3,678	✓
2	✓	4	✓	4	✓
30°	✓	0°	✓	113,1°	✓
3,303 - j 2,678	✓	2,268 - j	✓	-5,571 + j 3,678	✓
4,253	✓	2,479	✓	6,676	✓
-39°	✓	-23,8°	✓	146,6°	✓
-585,641		2665,639		2080	
608,615	✓	1471,384	✓	2080	✓
1680		400		2080	
800 + j 0	✓	0 - j 1600	✓	1280 + j 960	✓
2080	✓	-640			
762,87 + j 618,56	✓	-61,88 - j 569,06	✓	1379 - j 689,5	✓
2080	✓	-640			

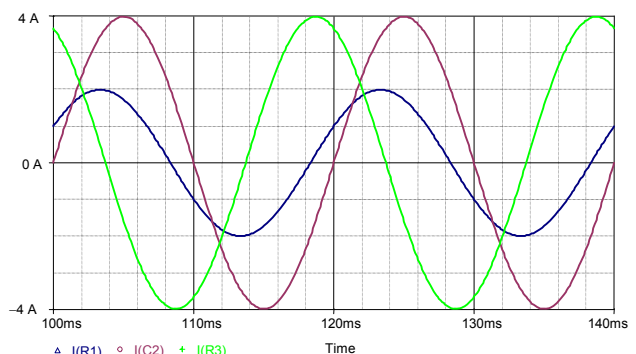
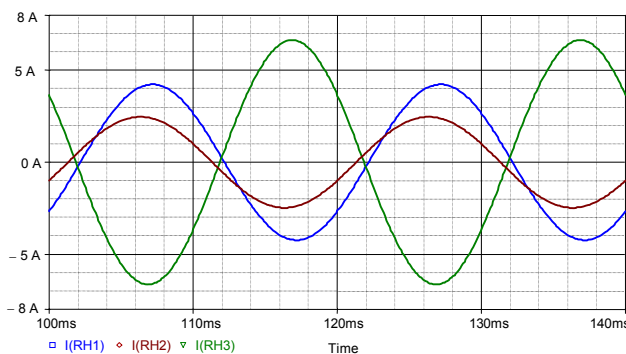


Bild BB_18.4_1: PSPICE-Simulation zum BB_18.4

links: Leiterströme

rechts: Verbraucher-Strangströme

(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.5: Verbraucher-Dreieckschaltung

Tabelle BB_18.5_1: Legende zur Tabelle BB_18.5_2

\underline{I}_{12} (KF) in A	\underline{I}_{23} (KF) in A	\underline{I}_{31} (KF) in A
$ \underline{I}_{12} $ in A	$ \underline{I}_{23} $ in A	$ \underline{I}_{31} $ in A
\underline{I}_{12} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{23} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{31} (Nullphasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_{12} (KF) in V·A	\underline{S}_{23} (KF) in V·A	\underline{S}_{31} (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.5_2: Lösungsübersicht zum BB_18.5

Rechnung stimmt !

0,244 + j 0,911	✓	4 - j 4	✓	- 0,366 + j 1,366	✓
0,943	✓	5,657	✓	1,414	✓
75°	✓	- 45°	✓	105°	✓
0,61 - j 0,455	✓	3,756 - j 4,911	✓	- 4,366 + j 5,366	✓
0,761	✓	6,182	✓	6,918	✓
- 36,7°	✓	- 52,6°	✓	129,1°	✓
- 318,974	✓	2585,64	✓	2267	✓
120,256		2146,41		2267	
302,393		1964,273		2267	
267 - j 267		1600 - j 1600		400 + j 400	
2267		- 1467			
140,88 + j 105,16	✓	548,43 - j 1318,2	✓	1577,35 - j 253,6	✓
2267	✓	- 1467	✓		

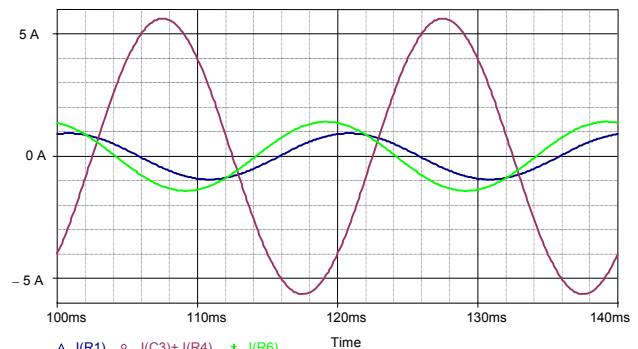
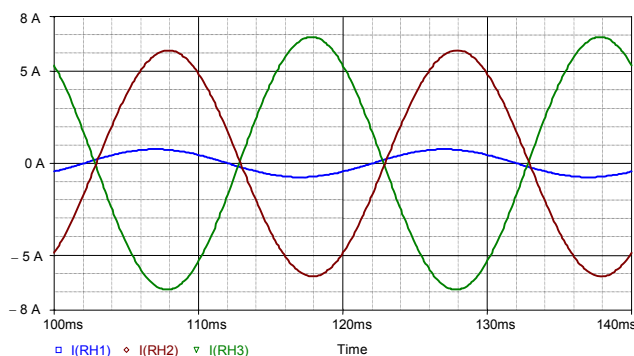


Bild BB_18.5_1: PSPICE-Simulation zum BB_18.5

links: Leiterströme

rechts: Verbraucher-Strangströme

(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.6.a: Verbraucher-Dreieckschaltung ohne Symmetrierung

Tabelle BB_18.6_1: Legende zur Tabelle BB_18.6_2

\underline{I}_{12} (KF) in A	\underline{I}_{23} (KF) in A	\underline{I}_{31} (KF) in A
$ \underline{I}_{12} $ in A	$ \underline{I}_{23} $ in A	$ \underline{I}_{31} $ in A
\underline{I}_{12} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{23} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{31} (Nullphasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_{12} (KF) in V·A	\underline{S}_{23} (KF) in V·A	\underline{S}_{31} (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.6_2: Lösungsübersicht zum BB_18.6.a

Rechnung stimmt !

$-2 + j 3,464$		-4		$-3,464 + j 2$	
4	✓	4	✓	4	✓
120°	✓	180°	✓	150°	✓
$1,464 + j 1,464$	✓	$-2 - j 3,464$	✓	$0,536 + j 2$	✓
2,071	✓	4	✓	2,071	✓
45°	✓	-120°	✓	75°	✓
1385,64		214,359		1600	
800		800		1600	
214,359		1385,64		1600	
$0 - j 1600$		$0 + j 1600$		$1600 + j 0$	
1600		0			
$338,12 - j 338,12$		$923,76 + j 0$		$338,12 + j 338,12$	
1600		0			

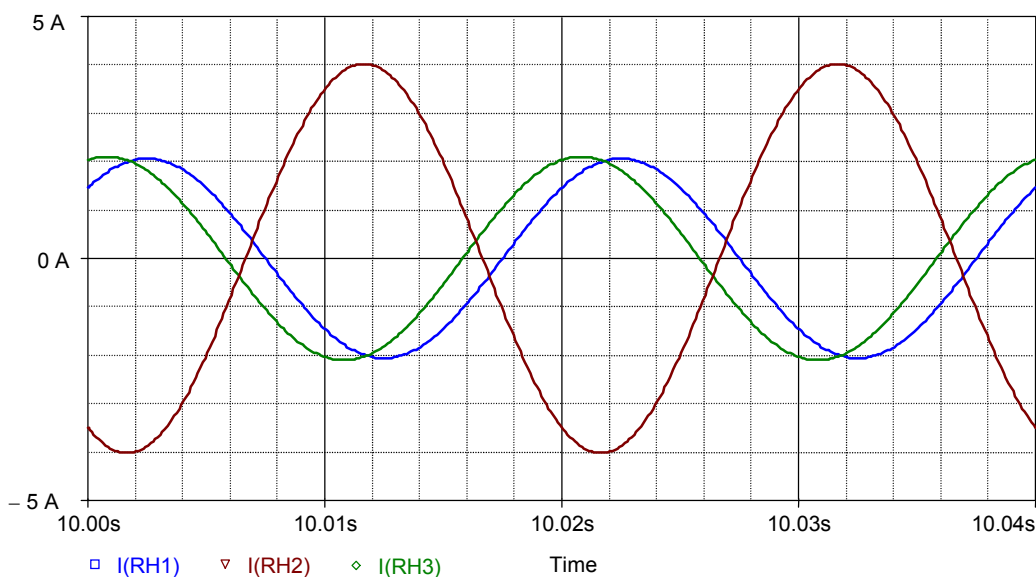


Bild BB_18.6_1: PSPICE-Simulation zum BB_18.6.a (nur Leiterströme)
(Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)

BB 18.6.b: Verbraucher-Dreieckschaltung mit Symmetrierung

Tabelle BB_18.6_3: Legende zur Tabelle BB_18.6_4

\underline{I}_{12} (KF) in A	\underline{I}_{23} (KF) in A	\underline{I}_{31} (KF) in A
$ \underline{I}_{12} $ in A	$ \underline{I}_{23} $ in A	$ \underline{I}_{31} $ in A
\underline{I}_{12} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{23} (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_{31} (Nullphasenwinkel)
\underline{I}_1 (KF) in A	\underline{I}_2 (KF) in A	\underline{I}_3 (KF) in A
$ \underline{I}_1 $ in A	$ \underline{I}_2 $ in A	$ \underline{I}_3 $ in A
\underline{I}_1 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_2 (Nullphasenwinkel)	\underline{I}_3 (Nullphasenwinkel)
P_{A1} ARON (L1) in W	P_{B1} ARON (L1) in W	$\Sigma P_1 = P_{A1} + P_{B1}$
P_{A2} ARON (L2) in W	P_{B2} ARON (L2) in W	$\Sigma P_2 = P_{A2} + P_{B2}$
P_{A3} ARON (L3) in W	P_{B3} ARON (L3) in W	$\Sigma P_3 = P_{A3} + P_{B3}$
\underline{S}_{12} (KF) in V·A	\underline{S}_{23} (KF) in V·A	\underline{S}_{31} (KF) in V·A
ΣP_V in W	ΣQ_V in var	
\underline{S}_{1M} (KF) in V·A	\underline{S}_{2M} (KF) in V·A	\underline{S}_{3M} (KF) in V·A
ΣP_G in W	ΣQ_G in var	

Tabelle BB_18.6_4: Lösungsübersicht zum BB_18.6.b

Rechnung stimmt !

$-2 + j 3,464$	-4	$-6,08 + j 3,51$	✓
4	4	7,018	✓
120°	180°	150°	✓
$4,077 - j 0,045$	$-2 - j 3,4641$	$-2,077 + j 3,509$	
4,078	4	4,078	✓
$-0,6^\circ$	-120°	$120,6^\circ$	✓
1385,64	1421,376	2807,016	
1403,507	1403,509	2807,016	
1421,376	1385,64	2807,016	
$0 - j 1600$	$0 + j 1600$	$2807,016 + j 0$	
2807	0		
$941,627 + j 10,317$	$923,76 + j 0$	$941,628 - j 10,316$	
2807	0		

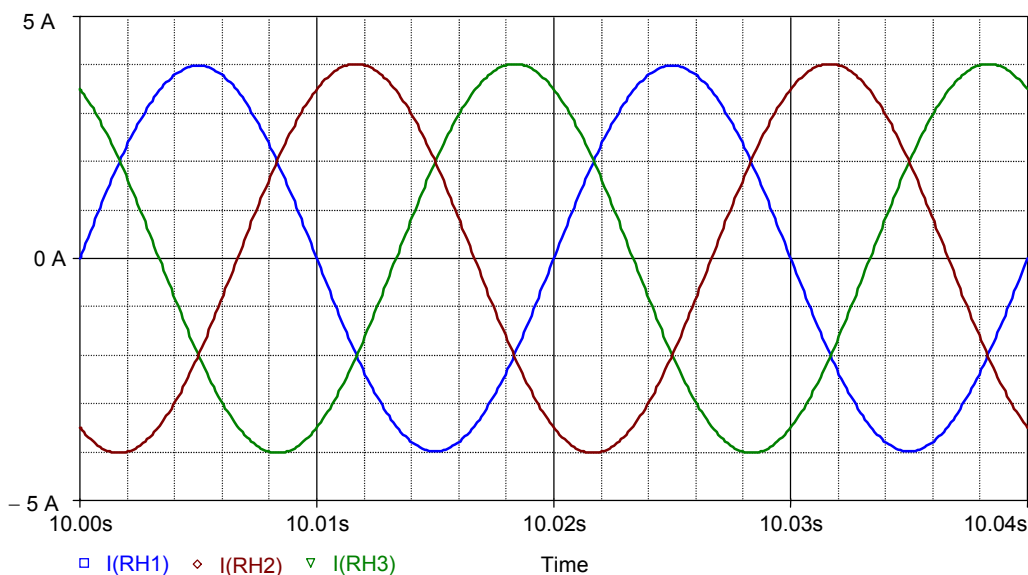


Bild BB_18.6_2: PSPICE-Simulation zum BB_18.6.b (nur Leiterströme)
 (Die Maximalwerte entsprechen den berechneten Effektivwerten)