Elektrotechnik auf Rechenschiebern: Wechselstromrechnung und die trigonometrischen Skalen

Andreas Poschinger
Stand: 27.01.22

1. Kurznotation

Beispiel: Multiplikation dreier Zahlen: 3*4*5=60:

In schnellem Deutsch:

CI 4 nach D 3, bei C 5 das Ergebnis auf D (60)

In Symbolschreibweise:

`D:3<|<CI:4; C:5<|=D:60`

In der Symbolschreibweise wird der Läufer berücksichtigt, so dass Einstellungen, die ohne Läufer möglich und sinnvoll sind, auch so notiert werden können.

Tabelle 1: Bedeutung der Symbole

Symbol	**Bedeutung**
<	Bewege Zunge
<|	Bewege Läufer
|<	Bewege Zunge zum Läufer
D:3	3 auf D
|=	Am Läufer ist das Ergebnis
C:1=	Bei 1 auf C ist das Ergebnis

`D:3<|<CI:4; C:5<|=D:60` bedeutet also in ausführlicherem Deutsch:

Bewege Läufer zu 3 auf D;
Bewege 4 auf CI zum Läufer;
Bewege Läufer zu 5 auf C;
Beim Läufer ist das Ergebnis 60 auf D

Prinzipiell kann man beliebig viele Ausdrücke in eine Reihe schreiben und mit Strichpunkt trennen. Es erscheint aber auch sinnvoll jede Zeile mit einer Zungenbewegung zu beginnen, und je Zungenbewegung eine neue Zeile zu starten, sodass die Zahl der Zeilenzahl direkt auf die Zungenbewegungen rückschließen lässt. Passt eine Anweisungsreihe mit nur einer

Zungenbewegung nicht in eine Zeile, dann wird so umgebrochen und eingerückt, dass der Platz des ersten Ausdrucks, der ja nomal die Zungenbewegung enthält frei bleibt.

2. Grundrezepte des Rechenschiebers mit Relevanz für trigonometrische Berechnungen

Die Grundrezepte werden anhand der Standardrezepte für Division und Mutiplikation eingeführt.

1. Grundprinzip: Ergebnisse finden sich gewöhnlich auf der Skala D (oder DF)

Bei allen grundlegenden Rezepten zur Multiplikation und Division finden sich die Ergebnisse auf der D-Skala.

Beispiel Multiplikation: 4*0,75=3

```
D:4 < CI:0,75; C1= D3
```

Der Grund hierfür ist, dass das Ergebnis auf D mit dem Läufer „gespeichert“ wird und man zum Beispiel eine weitere Multiplikation oder Division anhängen kann. Auf der Zunge kann der Wert mit dem Läufer nicht „gespeichert“ werden.

Hinweis: Bei Verwendung der Skala CI zur Multiplikation wird der „Rückschlag“ (Zurücksetzen der Zunge um eine Skalenlänge) sicher vermieden. Zudem kann direkt eine weitere Multiplikation unter Nutzung der Skala C bzw. Division unter Nutzung der Skala CI angehängt werden. Auch der Übergang auf die gefalteten Skalen CF, CIF und DF ist möglich.

Beispiel Division: 3/0,75 = 4

```
D3 <|< C0.75; C10 <= 4
```

Hinweis: Bei Verwendung der Skala C zur Division wird der „Rückschlag“ (Zurücksetzen der Zunge um eine Skalenlänge) sicher vermieden. Zudem kann direkt eine weitere Multiplikation unter Nutzung der Skala C bzw. Division unter Nutzung der Skala CI angehängt werden. Auch der Übergang auf die gefalteten Skalen CF, CIF und DF ist möglich.

Beachten Sie, dass die gleiche Schiebereinstellung auch ¾ zeigt, mit der Ablesung auf C, wobei Dividend und Divisor beide auf der gleichen Skala zu finden sind!

2. Grundprinzip: Jede Division lässt sich auch so lösen, dass Dividend und Divisor (Quotient = Dividend / Divisor) auf der selben Skala zu finden sind (oft nützlich für trigonometrische Berechnungen!).

Beispiel 3/4=0.75

```
D:10 < C:4; C:3 <|= D:0.75
```

Obwohl in der Regel nicht relevant für trigonometrische Berechnungen funktioniert dies auch für Ergebnisse größer 1:

Beispiel 8/4=2

```
D:1 < C:4; C:8 <|= D:2
```

3. Grundprinzip: Alle Standardberechnungen lassen sich spiegeln, sodass die Ergebnisse auf C sind, wenn die entsprechenden Skalen jeweils doppelt auf Körper und Zunge vorhanden sind. Obwohl hier das Ergebnis mit dem Läufer nicht „gespeichert“ werden kann, ist das Ergebnis auf C besonders nützlich wenn sich die trigonometrischen Skalen auf der Zunge befinden.

Beispiel 3/4=0.75 (Dividend und Divisor auf der selben Skala)

```
D:4<C:10; D:3<|=C0.75
```

Das gilt auch für Multiplikationen; diese sind jedoch im Kontext der trigonometrischen Funktionen weniger relevant.

Beispiel: 4*0,75=3:

```
DI:4<C0.75; D:1<=C:3
```

4. Grundprinzip: Der Index von C zeigt das Inverse vom Index auf D (und umgekehrt), bzw. C1 zeigt auf D immer das selbe wie D10 auf CI.

Beispiel: 1/4=0.25:

```
D:4<C:1; D:10<=C:0.25, D:10<=CI4 oder: D:1<C:4; C:10<=D:0.25, C:10<=DI:4
```

5. Grundprinzip: Divisionen können auch auf den inversen Skalen CI und DI durchgeführt werden, mit den Ergebnissen auf D bzw. C.

Beispiel 3/4 = 0.75

Variante mit CI:

```
D:10<|<CI:3; CI4:<|=D0.75
```

Anmerkung: Mit CI:3 auf D:10 ist automatisch auch C:1 auf D:3 (4. Grundprinzip). D.h. das Rezept ist im Prinzip gleich zur Division mittels der Skala CI.

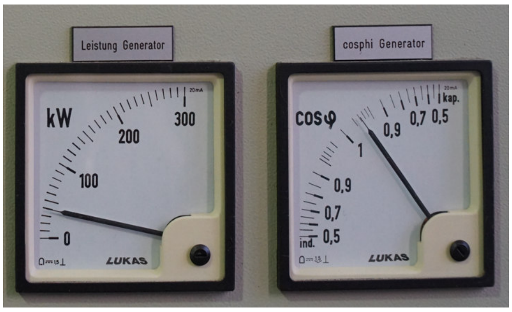
Variante mit DI:

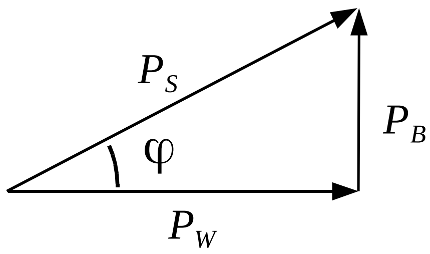
```
DI:3 <|< C:10; DI:4<|= C:0.75
```

3. Elektrotechnisches Beispiel zur Anwendung trigonometrischer Funktionen

Gewählt wird das Beispiel von Schein- (P_S), Wirk- (P_W) und Blindleistung (P_B), beziehungsweise der abgegebenen mechanischen Leistung (P_M).

Bei der elektrischen Energieübertragung wird grundsätzlich Blind- und Wirkleistung übertragen, wobei die Wirkleistung über die Zeit zu nutzbarer Arbeit/Energie wird, während die Blindleistung sich über die Zeit ausmittelt. Dennoch verursacht die Blindleistung einen anteilsmäßigen Strom, der die Leitungen “verstopft” und ist daher nur sehr bedingt erwünscht.





Der tatsächlich fließende Strom hängt von der Scheinleistung ab, die als Vektoraddition von Blind- und Wirkleistung modelliert werden kann, wobei Blind- und Wirkleistung zueinander senkrecht stehen. Mathematisch lassen sich die Zusammenhänge also als rechtwinkliges Dreieck modellieren:

Tabelle 1: Formeln zur Berechnung der Leistung

$P_W=\cos(\varphi) P_S$	$P_M=\eta P_W$	$P_B=\sin(\varphi) P_S$	$P_S^2=P_W^2+P_B^2$

Weitere nützliche Formeln zur Berechung mit dem Rechenschieber sind:

Tabelle 2: Alternative Formeln zur Berechnung der Leistung

$P_B=P_W\cdot\tan(\varphi)$	$P_W=P_S\cdot\sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$	$P_B=P_S\cdot\sqrt{1-\cos^2(\varphi)}$
$P_W=P_B\cdot\cot(\varphi)$	$P_S=P_W\cdot\sqrt{1+\tan^2(\varphi)}$	$P_S=P_B\cdot\sqrt{1+\cot^2(\varphi)}$

Beispiel: P_S=5kVA, cos(φ)=0.8, P_W=4kW, η=0.9, P_M=3.2kW, P_B=3kvar, φ= 36,87°

Diese Zahlenwerte werden in unterschiedlichen Aufgaben verwendet, je nachdem welche Werte gegeben sind und welche Werte gesucht sind. Die konkreten Zahlenwerte erlauben auch eine Lösung des pythagoreischen Ansatzes mit glatten Werten: $5^2 = 4^2 + 3^2$. Ebenso ergeben sich für die trigonometrischen Funktionen glatte Werte: cos(φ)=0.8 = 4/5, sin(φ)=0.6=3/5, tan(φ)=0.75=3/4.

Diese Wertekombination eignet sich daher hervorragend als Gedächtnisstütze, um Rechenschieberrezepte schnell auszuprobieren, sich ggf. daran wieder zu erinnern und mögliche Fehler leicht zu erkennen.

In der Elektrotechnik werden auch Ströme und Spannungen in dieser Schreibweise betrachtet, die defakto der komplexen Vektordarstellung in Polarkoordinaten (Länge des Vektors/Scheingröße und Winkel) oder in kartesischen Koordinaten (Wirk- und Blindgröße). Diese beiden Darstellungen mussten in der Vergangenheit häufig ineinander umgerechnet werden, da Multiplikationen günstig in Polardarstellung und Additionen nur in kartesischer Darstellung bewerkstelligt werden konnten.

In der Praxis sind bei den Leistungen besonders folgende Aufgabenstellungen relevant:

Gegeben: P_W, cos(φ), η; Gesucht: φ , $P_{S,}$ $P_{B,}$ $P_{M,}$

Gegeben: P_S, φ; Gesucht: P_B, $P_{W,}$ P_M

Gegeben P_B, P_W; Gesucht: P_S, φ

Es ist zu beachten, dass oft weitere Größen gerechnet werden müssen, sodass es oft vorteilhaft ist, wenn das Ergebnis auf D oder DF erscheint, damit es mit dem Läufer gespeichert werden kann. Für viele praktische Aufgabenstellungen ist es auch hilfreich, wenn zwei Werte gespeichert werden können, weswegen manche Rechenschieber auch mit zwei Läufern ausgestattet wurden.

4. Grundsätzliche Lösungsarten auf dem Rechenschiebers

Je nach genauer Aufgabenstellung sind im Prinzip sind grundsätzlich verschiedene Lösungsarten auf dem Rechenschieber denkbar:

- Die ausschließliche Verwendung trigonometrischer Funktionen
- Die Mitverwendung des pythagoreischen Ansatzes

Daneben ergeben sich bei der Lösung auf dem Rechenschieber auch noch Unterschiede, ob die trigonometrischen Funktionen auf dem Körper oder auf der Zunge sind, ob für den pythagoreischen Ansatz A und/oder B Skala oder P und/oder H Skalen verfügbar sind und ob diese Skalen mit den jeweils vorhandenen trigonometrischen Funktionen zusammenarbeiten oder nicht. Einige Rechenschiebermodelle haben auch spezielle trigonometrische Skalen (z.B. PIC 121, 221) und/oder pythagoreische Skalen (z.B. Hemmi 159).

Insgesamt ergeben sich daher entsprechend einer Vielzahl von Rechenschiebermodellen eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten. Es werden folgende Modelle betrachtet:

Rechenschieber mit den trigonometrischen Skalen auf der Zunge einschließlich B (Aristo Multilog, Reiss Elektro (Alu), Pickett N3, K&E LogLog, etc): „TrigOnSlide“. Diese Skalenanordnung war der Defaktostandard in Nordamerika. Interessanterweise wird diese Skalenanordnung auch auf dem Aristo Hyperbolog und Hyperlog verwendet, sodass die einzigen „Vektorrechenschieber“ für Ingenieursgebrauch aus westdeutscher Produktion dem US Amerikanischen Standard gefolgt sind.

Rechenschieber mit den trigonometrischen Skalen auf der Zunge und zusätzlich P und H1, H2 auf der Zunge (Flying Fish 1002, 1003, (1200)): „ExtTrigOnSlide“. Diese Skalenanordnung wurde offenbar in China entwickelt, so dass es mit diesem Skalenlayout nur diese drei chinesische Rechenschiebermodelle existieren.

Rechenschieber mit den trigonometrischen Skalen auf dem Körper einschließlich P und A, aber üblicherweise keine H Skalen (Darmstadt, Aristo Studio, Reiss Duplex, etc): „ExtTrigOnBody“. Diese Skalenanordnung war der Defaktostandard in Deutschland und in Europäischen Exportmärkten. Auch viele westeuropäische Rechenschiebermodelle hatten diese Anordnung, darunter auch der Thornton PIC 221, der danaben nicht nur die PIC typischen „DiffTrig“ Skalen auf der Zunge besitzt sondern auch eine H1 Skala auf dem Körper und somit der erste massengefertigte europäische Rechenschieber mit H Skala sein dürfte. Nicht extra betrachtet wird die zusätzliche Sinusskala auf der Zunge später Rechenschiebermodelle wie des Reiss Duplex, Faber 2/82N sowie Aristo Studiolog.

Aus historischen Gründen wird der Faber 378 Elektro als Vertreter eines Simplexrechenschiebers betrachtet, dessen Skalenanordnung weitgehend dem System Mannheim folgt, von dem sich alle modernen Skalenanordnungen abgeleitet haben.

5. TrigOnSlide

5.1 Einleitung

Dieses Skalenlayout entspricht im Prinzip dem Skalenlayout nach dem System Mannheim, mit dem Unterschied, dass es sich um Zweiseiten- beziehungsweise Duplexrechenschieber handelt mit dem Vorteil, dass auch die Skalen der Rückseite der Zunge abgelesen werden können und sich auf der Rückseite zumindest auch die D Skala und oft auch noch eine C Skala sowie A und B befindet.

Bei frühen Rechenschieber dieser Bauart ist die sin Skala noch auf die Skala B bezogen während es sich ab den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts durchgesetzt hat, die sin wie die tan Skala auf C zu beziehen.

Der Duplex Rechenschieber kann so weniger als eine Lösung betrachtet werden, mit der mehr Skalen möglich wurden, als vielmehr eine Lösung mit dem das umständliche Umstecken der Zunge und auch sonst umständliche Rechenvorgänge vermieden werden.

Die „TrigOnSlide“ Anordnung ist zu Mannheim und Rietz sowie Faber Elektro dann kompatibel, wenn die A und B Skala existieren; in diesem Fall sind alle Rezepte, die auf diesen Modellen gerechnet werden können, können auch auf TrigOnSlide kompatiblen Rechenschiebern gerechnet werden. Es gibt jedoch auch eine Variante von TrigOnSlide Rechenschiebern, die statt der üblichen A und B Skala eine R1 und R2 Skala besitzen. Bekannte Vertreter sind der Post „Versalog“ sein, sowie der Picket N4 mit zusätzlichen Skalen für die dritte Wurzel.

5.2 Berechnung von φ , P_S, P_B, P_M aus η, P_w und cos(φ)

Variante 1 (nur mit Trig Skalen): Zuerst P_M=P_W*η mit Wertübertragung (Ergebnis auf D), danach mit neuer Schiebereinstellung P_S=4/cos(φ) (Ergebnis auf D), φ ablesen, P_B=P_S*(sin(φ)) (Ergebnis auf D)

```
D:4 < C:10; C:0.9 <|=D:3.6

D:4 <|< C:0.8; C:10 = D:5;|= cos:36.85; sin:36.85 <|=D:3
```

Variante 2 (mit virtueller P Skala): Zuerst P_M=P_W*η(Ergebnis auf D), danach mit neuer Schiebereinstellung P_S=4/cos(φ) (Ergebnis auf D), φ ablesen, $P_B = P_S \cdot \sqrt{1-\cos^2(\varphi)}$ mittels B Skala (Ergebnis auf D)

```
D:4 < C:10; C:0.9 <|=D:3.6

D:4 <|< C:0.8; C:10 = D:5;|= cos:36.85; |= B:0.64; B:0.36<|=D:3
```

5.3 Berechnung von P_B, P_W, P_M aus φ, P_S und η

Nur mit Trig Skalen: Zuerst mit einer Schiebereinstellung P_B=5*sin(φ) (Ergebnis auf D), P_W=P_S*cos(φ) (Ergebnis auf D); danach P_M=P_W*η

```
D:5 < C:10; sin:36.85 <|= D:3; cos:36.85 <|= D:4
```

```
|< C:10; C0.9 <|= D:3.6
```

Mit virtueller P Skala: Zuerst mit einer Schiebereinstellung P_B=5*sin(φ) (Ergebnis auf D), $P_W=P_S\cdot\sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$ mit B Skala (Ergebnis auf D); danach P_M=P_W*η

```
D:5 < C:10; sin:36.85 <|= D:3;|= B:0.36; B0.64 <|=D:4
```

```
|< C:10; C0.9 <|= D:3.6
```

5.4 Berechnung von φ und P_S aus P_B und P_W

Übliche Reihenfolge: zuerst tan(φ) berechnen durch Division mit Dividend und Divisor auf D, φ ablesen und P_S=P_B/sin(φ) berechnen (Ergebnis auf D)

```
D:4 < C:10; D:3 <|= tan:36.85;
|<sin:36.85; C10 = D5
```

Zweite Variante: (Mittels DI, vergleiche bei TrigOnBody):

```
DI:3 < C:10; DI:4 <|= tan:36.85; sin:36.85 <|= DI:5
```

6. ExtTrigOnSlide

6.1 Einleitung

ExtTrigOnSlide Rechenschieber basieren auf der TrigOnSlide Anordnung und sind zu diesen rückwärts kompatibel; alle Rezepte, die sich auf TrigOnSlide rechnen lassen, lassen sich auch auf ExtTrigOnSlide rechnen soweit sie nicht die Skalen A und B bzw. K abweichen. Historisch stellen die Rechenschieber dieser Klasse die letzte Entwicklungsstufe des Rechenschiebers dar. Auf diesen Rechenschiebern existieren auf der Zunge neben den normalen trigonometrischen Skalen auch noch die P Skala sowie die H1 und H2 Skala (zur Berechung von $\sqrt{1+\tan^2(\varphi)}$ bzw. $\sqrt{1+\cot^2(\varphi)}$). Daneben muss auch mindestens noch die tan2 Skala existieren. Die Vertreter dieses Rechenschiebertyps sind Flying Fish 1002 und 1003, die sich offenbar aus Vorgängern wie dem Nan Hui 5901 und dem Nan Hui 6501 sowie Dingfeng 5471 und gegebenenfalls weiteren hervorgegangen sind, die nur über die P und H1 Skala verfügt haben. Der Flying Fish 1002 besitzt die Skalen A und B sowie K, während der Typ 1003 die Wurzelskalen besitzt. Interessanterweise wurde auf dem Flying Fish 1200, der ansonsten dem Modell 1002 folgt, die H1 und H2 Skala zu Gunsten einer erweiterten Palette trigonometrischer Funktionen (speziell T3 und CH) wieder fallen gelassen.

6.2 Berechnung von φ , P_S, P_B, P_M aus η, P_w und cos(φ)

Zuerst $P_M=P_W*\eta$ (Ergebnis auf D), danach $P_S=4/\cos(\varphi)$ (Ergebnis auf D), φ ablesen, $P_B=P_S\cdot\sqrt{1-\cos^2(\varphi)}$ mittels P Skala (Ergebnis auf D)

```
D:4 < C:10; C:0.9 <|=D:3.6
```

```
D:4 <|< C:0.8; C:10 = D:5;|= cos:36.85; P0.8<|=D:3
```

6.3 Berechnung von P_B, P_W, P_M aus φ, P_S und η

Mit P Skala: Zuerst mit einer Schiebereinstellung $P_B=5*\sin(\varphi)$ (Ergebnis auf D), $P_W=P_S\cdot\sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$ mit P Skala (Ergebnis auf D); danach $P_M=P_W*\eta$

```
D:5 < C:10; sin:36.85 <|= D:3; |=C0.6; P:0.6 <|=D:4
```

```
|< C:10; C0.9 <|= D:3.6
```

6.4 Berechnung von φ und P_S aus P_B und P_W

Variante 1 (tan(φ), Ergebnis auf DF): zuerst tan(φ) berechnen durch Division mit Dividend und Divisor auf D, φ und $\sqrt{1+\tan^2(\varphi)}$ ablesen und $P_S=P_W\cdot\sqrt{1+\tan^2(\varphi)}$ berechnen (Ergebnis auf DF)

```
D:4 < C:10; D:3 <|= tan:36.85; |=H1:1.25; CF:1.25 <|= DF:5
```

Variante 2 (cot(φ), Ergebnis auf D): zuerst cot(φ) berechnen durch Division mit Dividend und Divisor auf D, φ und $\sqrt{1+\cot^2(\varphi)}$ ablesen und $P_S=P_B\cdot\sqrt{1+\cot^2(\varphi)}$ berechnen (Ergebnis auf D)

```
D:3 < C:1; D:4 <|= cot2:36.85; |=H2:1.66; C:1.66 <|= D:5
```

7. TrigOnBody

7.1 Einleitung

Hier befinden sich die trigonometrischen Skalen auf dem Körper. Zur Verwendung dieser Rezepte genügt daher auch ein Simplex Rechenschieber mit geschlossenem Körper vom Typ Darmstadt. Der Erfolg dieser Skalenanordnung war ursprünglich wohl darin zu sehen, dass die in Deutschland üblichen Simplex Rechenschieber mit geschlossenem Körper beinahe unverändert weitergebaut werden können. Seitenablesungen für Skalen an den Seitenflächen waren schon z.B. vom Nestler 37 Electro bekannt. Später hat man erkannt, dass die trigonometrischen Skalen so leicht als Tabellen verwendet werden können. Hierzu konnte man die Zunge sogar entfernen, so dass es einfacher zu unterrichten war. Infolge dessen hat sich dieses Skalenlayout auch an den Schulen durchgesetzt. Einmal an die trigonometrischen Skalen auf dem Körper gewohnt dürfte es schwer gefallen sein, sich wieder an trigonometrische Skalen auf der Zunge zu gewöhnen.

7.2 Berechnung von φ , P_S, P_B, P_M aus η, P_w und cos(φ)

Gewählte Reihenfolge: Zuerst mit einer Schiebereinstellung P_S=4/cos(φ) (Ergebnis auf C), φ ablesen, $P_B = P_S \cdot \sqrt{1-\cos^2(\varphi)}$ ((Ergebnis auf C, P Skala für $\sqrt{1-\cos^2(\varphi)}$); danach P_M=P_W*η mit Wertübertragung und mit neuer Schiebereinstellung

```
D:0.8 <|< C:4; D:10 = C:5;|= cos:36.85; P0.8<|=C:3
```

```
D:10 < C:4; D:0.9 = C:3.6
```

7.3 Berechnung von P_B, P_W, P_M aus φ, P_S und η

Gewählte Reihenfolge: Zuerst mit einer Schiebereinstellung P_B=5*sin(φ) (Ergebnis auf C, sin, weil genauer), sin(φ) ablesen, $P_W = P_S \cdot \sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$ ((Ergebnis auf C, P Skala für $\sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$); danach P_M=P_W*η mit Wertübertragung und mit neuer Schiebereinstellung

```
D:10 < C:5; sin:36.85 <|= C:3;|= D:0.6; P0.6 <|=C:4
```

```
D:10 < C:4; D:0.9 = C:3.6
```

7.4 Berechnung von φ und P_S aus P_B und P_W

Gewählte Reihenfolge: zuerst tan(φ) berechnen durch Division mit Dividend und Divisor auf CI, φ ablesen und P_S=P_B/sin(φ) berechnen (Ergebnis auf CI)

```
D:10 < CI:3; CI:4 <|= tan:36.85; sin:36.85 <|= CI:5
```

8. Mannheim Simplex: Faber Elektro 378

8.1 Einleitung

Simplexrechenschieber mit geschlossenem Körper erlauben nur sehr bedingt Multiplikationen und Divisionen mit trigonometrischen Funktionen, solange die Zunge nicht gewendet wird. Beim Wenden der Zunge können jedoch keine normalen Multiplikationen/Divisionen mehr gerechnet werden, weil die Rückseite der Zunge keine C Skala beinhaltet. Dennoch ist das Wenden der Zunge manchmal von Vorteil.

Aus den Einschränkungen der Berechnungen erklärt sich sowohl die Entwicklung von TrigOnBody, bei dem die Zunge aufgrund der Skalenanordnung auf dem Körper nicht mehr gewendet werden muss, sowie auch von TrigOnSlide, bei der die Zunge aufgrund der Duplexkonstruktion nicht mehr gewendet werden muss.

Die Wechselstromrechnung dürfte sich erst ab den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts weiter verbreitet haben. Der Faber 378 war also ursprünglich wie das System Mannheim nicht für diese Aufgabe gedacht. Dennoch wurde sein Skalensystem im Faber 1/98 Elektro bis zum Schluss der Rechenschieberfertigung weitgehend unverändert beibehalten, was als Indiz gewertet werden kann, dass dieses Skalenlayout vielleicht auch für solche Aufgabenstellungen als ausreichend empfunden wurde.

8.2 Berechnung von φ , P_S, P_B, P_M aus η, P_w und cos(φ)

Variante 1: Nur mit Trig Skalen und A und B (SI… rechter Sinusableseindex auf der Rückseite; cos:φ = sin:(90-φ)):

```
A:100<B0.8; B:4<|=A:5; SI=cos:36°50‘20‘‘
SI < cos:36°50‘20‘‘; |=B:3
A:4 < B:10; B:9 <|= A3.6
```

Variante 2: Zur Erhöhung der Rechengenauigkeit mit virtueller P Skala (SI… rechter Sinusableseindex auf der Rückseite):

```
D:4 < C:10; C:0.9 <|=D:3.6

D:4 <|< C:0.8; C:10 = D:5;|= B:0.64; B:0.36<|=D:3; |=C:0.6
A:100 < B0.60; SI=sin:36°50‘20‘‘
```

8.3 Berechnung von P_B, P_W, P_M aus φ, P_S und η

Variante 1: Im Folgenden wird ein Rezept gezeigt, das ohne Wenden der Zunge auskommt und rein auf der sin sowie den quadratischen Skalen beruht.

```
SI < sin:36.85; A:5 <|= B:3;
SI < cos:36.85; |= B:4
A:4 <|< B10; B0.9<|=A:3.6
```

Variante 2: Aufgrund der Ungenauigkeit der sin Skala für große Winkel kann auch das Vorgehen über eine virtuelle P-Skala sinnvoll sein: Wert für sin bestimmen, P_B=5*sin(φ) (Ergebnis auf D), $P_W = P_S \cdot \sqrt{1-\sin^2(\varphi)}$ mit B Skala (Ergebnis auf D); danach P_M=P_W*η

```
SI < 36.85; A:100 = B:0.6

D:5 < C:10; C0.6 <|= D:3; |=B:0.36; B:0.64 <|=D:4

|< C:10; C0.9 <|= D:3.6
```

8.4 Berechnung von φ und P_S aus P_B und P_W

Variante 1: Im Folgenden wird ein Rezept gezeigt, das ohne Wenden der Zunge auskommt und auf einer virtuellen H Skala beruht. Zuerst tan(φ) berechnen durch Division mit Dividend und Divisor auf D, $P_S = P_W \cdot \sqrt{1+\tan^2(\varphi)}$ berechnen (Ergebnis auf D), φ bestimmen (TI: Index der tan Skala).

```
D:3 <|< C:4; C:10 = 0.75; B100=A:0.562;
D:4 < C1; B:1.562 <|<D:5
D:1 < C0.75; TI=tan:36°50‘20‘‘
```

Variante 2: Dieses Rezept basiert auf dem Wenden der Zunge (SR, TR...rechter Index der sin, tan Skala):

```
D:4 < TR; D:3 <|= tan:36°50‘20‘‘
A:3 |< sin:36°50‘20‘‘; SR=A:5
```

Dieses Rezept lässt sich einfacher auf einem Nestler 37 Electro rechnen, da hier die sin Skala in der Regel ebenfalls auf die D Skala bezogen ist (SR, TR...rechter Index der sin, tan Skala):

```
D:4 < TR; D:3 <|= tan:36°50‘20‘‘
|< sin:36°50‘20‘‘; TR=D:5
```