

Betrachtung eines ZOBEL-TP mit Dämpfungswiderstand und eines PI-TP und deren Verkettung über einen Trennverstärker --- 6. Mai 2007 Ingenieurbüro Baumann, Dorsten

- `reset() :DIGITS:=32:ta:=time() :w:=2*PI*f:p:=I*w:a0:=4:`
- `m:=sqrt(1-(fr1/fp1)^2):`
- `R:=50:fr1:=30e6:fp1:=40e6:fr2:=40e6:wg:=2*PI*fr1:Rd:=2e2:`
- `C1:=(1+m)/0.8/R/2/PI/fr1:`
- `C2:=(1-m^2)/2/m/0.8/R/2/PI/fr1:`
- `L1:=2*m*0.8*R/2/PI/fr1:`
- `C3:=m/0.8/R/2/PI/fr1:`

die Schaltelemente C1/pF, C2/pF, L1/nH, C3/pF

- `float(C1/1e-12);float(C2/1e-12);float(L1/1e-9);float(C3/1e-12);`

220.3550357740361943575835487749

56.395232055507909353687408120017

280.72293289852825989391065375297

87.725916530790081216847079297804

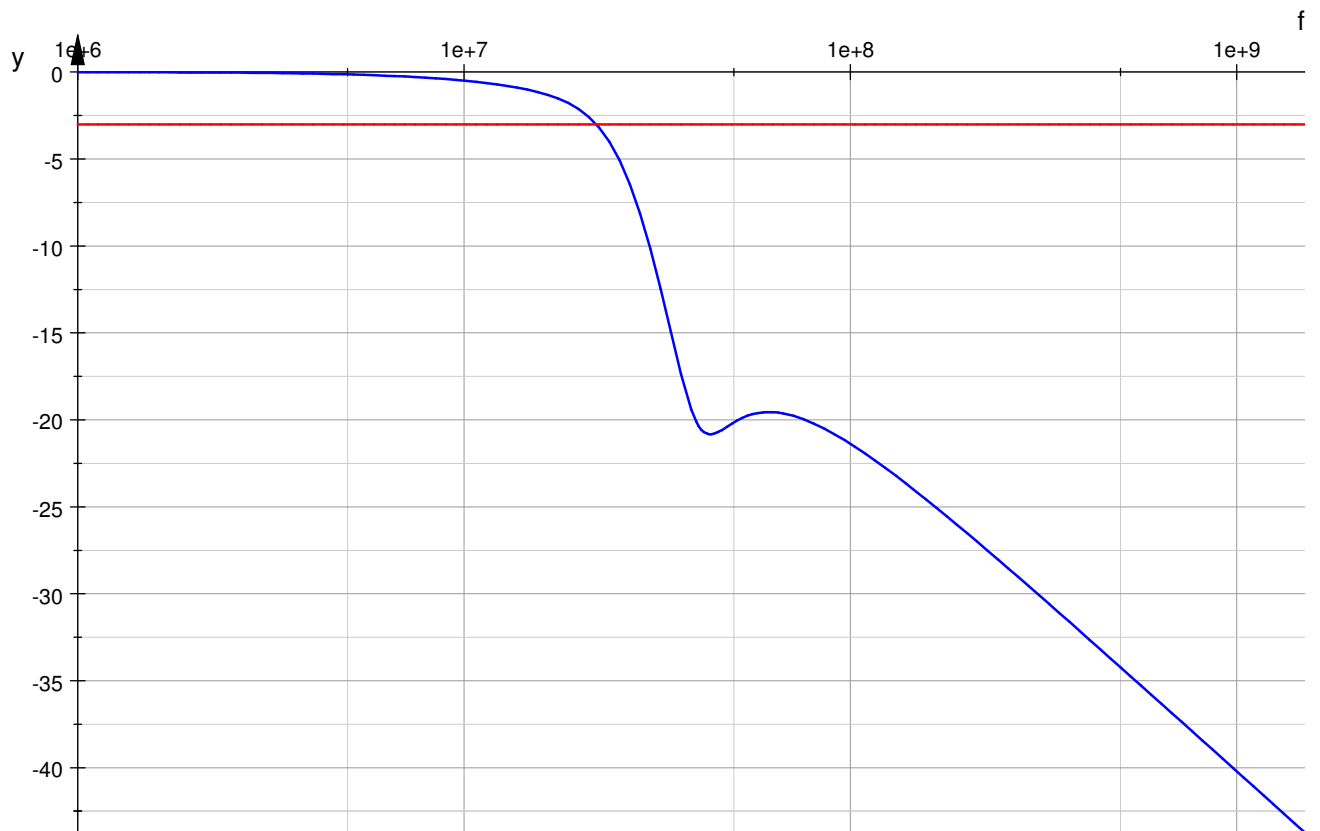
Berechnung der Übertragungsfunktion, des Phasenverlaufs und der Gruppenlaufzeit des ZOBEL-Filters

- `Z1:=1/(1/R+p*C3):`
- `Z2:=1/(1/p/L1+p*C2+1/Rd):`
- `U2U0:=(f)->1/(1+(p*C1+1/(Z1+Z2))*R)*Z1/(Z1+Z2):`
- `U2U0dB:=(f)->20*log(10,abs(U2U0(f))):`
- `Winkel:=(f)->180/PI*arg(U2U0(f)):`
- `tg:=(f)->-diff(Winkel(f),f)/360:`

Betrag der Übertragungsfunktion des ZOBEL-Filters ohne die Grunddämpfung in dB, doppelt logarithmisch

- `plotfunc2d(U2U0dB(f)+6.02, -3.01, f=1e6..50*fr1,
LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE,
CoordinateType=LogLin,
Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm,
Header="Amplitudenfunktion"):`

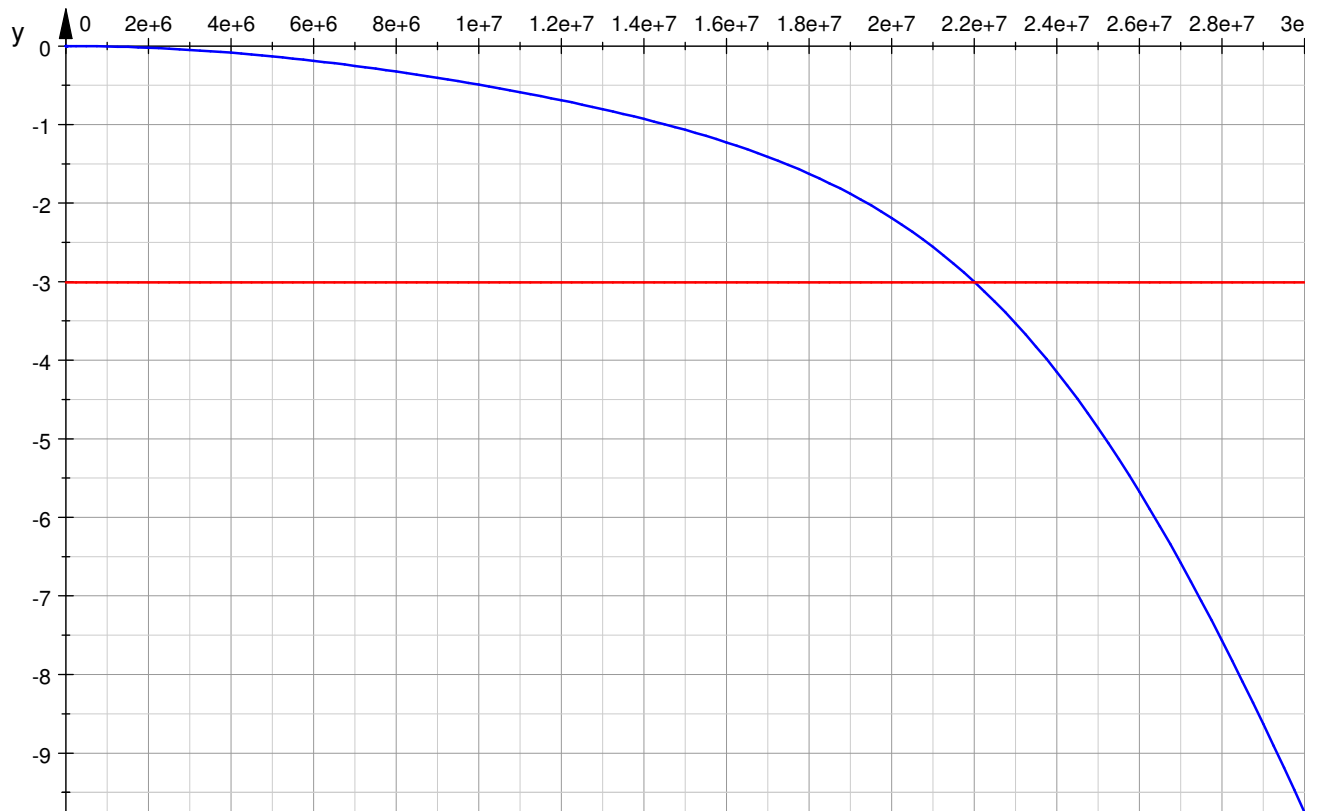
Amplitudenfunktion



vergrößerter Ausschnitt aus dem Betrag der Übertragungsfunktion des ZOBEL-Filters ohne die Grunddämpfung

- `plotfunc2d(U2U0dB(f)+6.02, -3.01, f=0..30e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Vergrößerung Amplitudenfunktion"):`

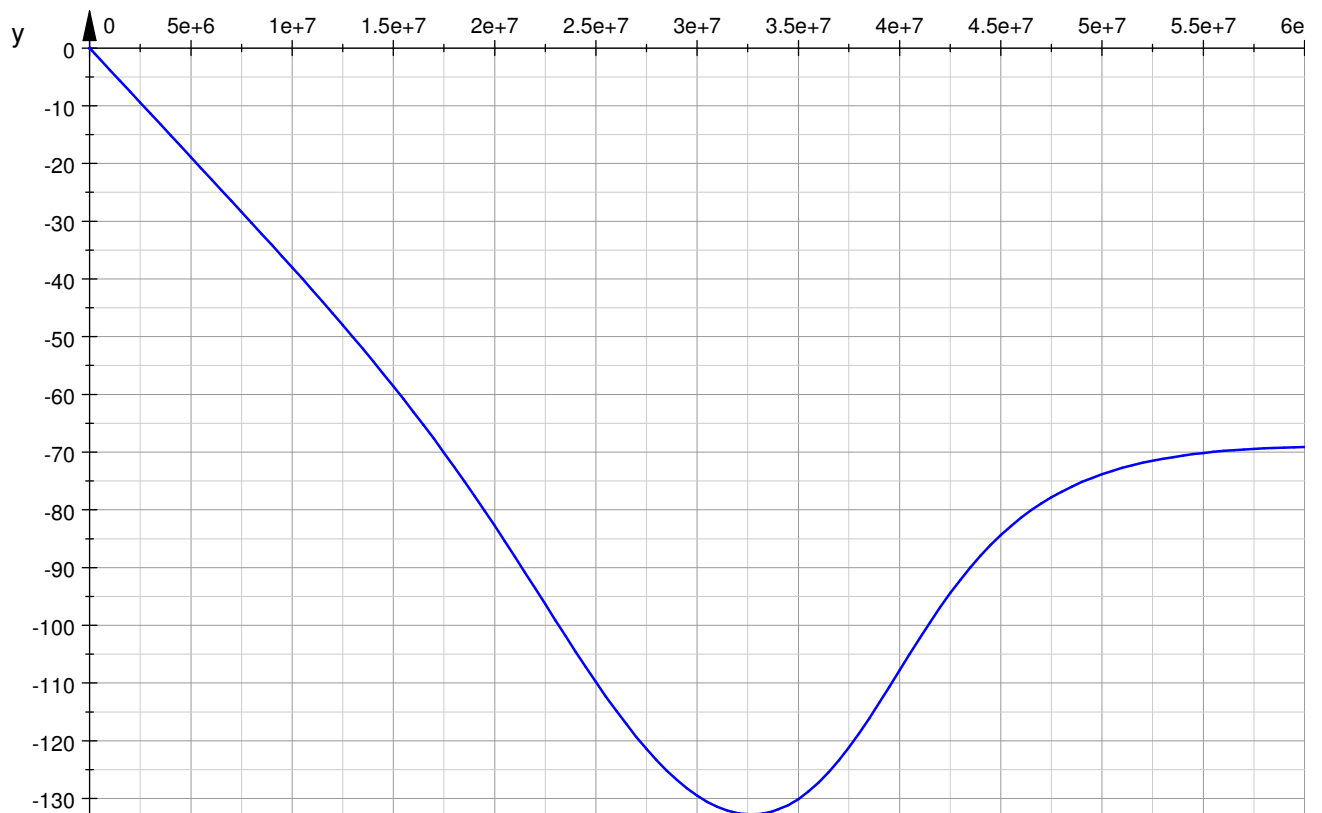
Vergrößerung Amplitudenfunktion



Phasenverlauf des ZOBEL-Filters

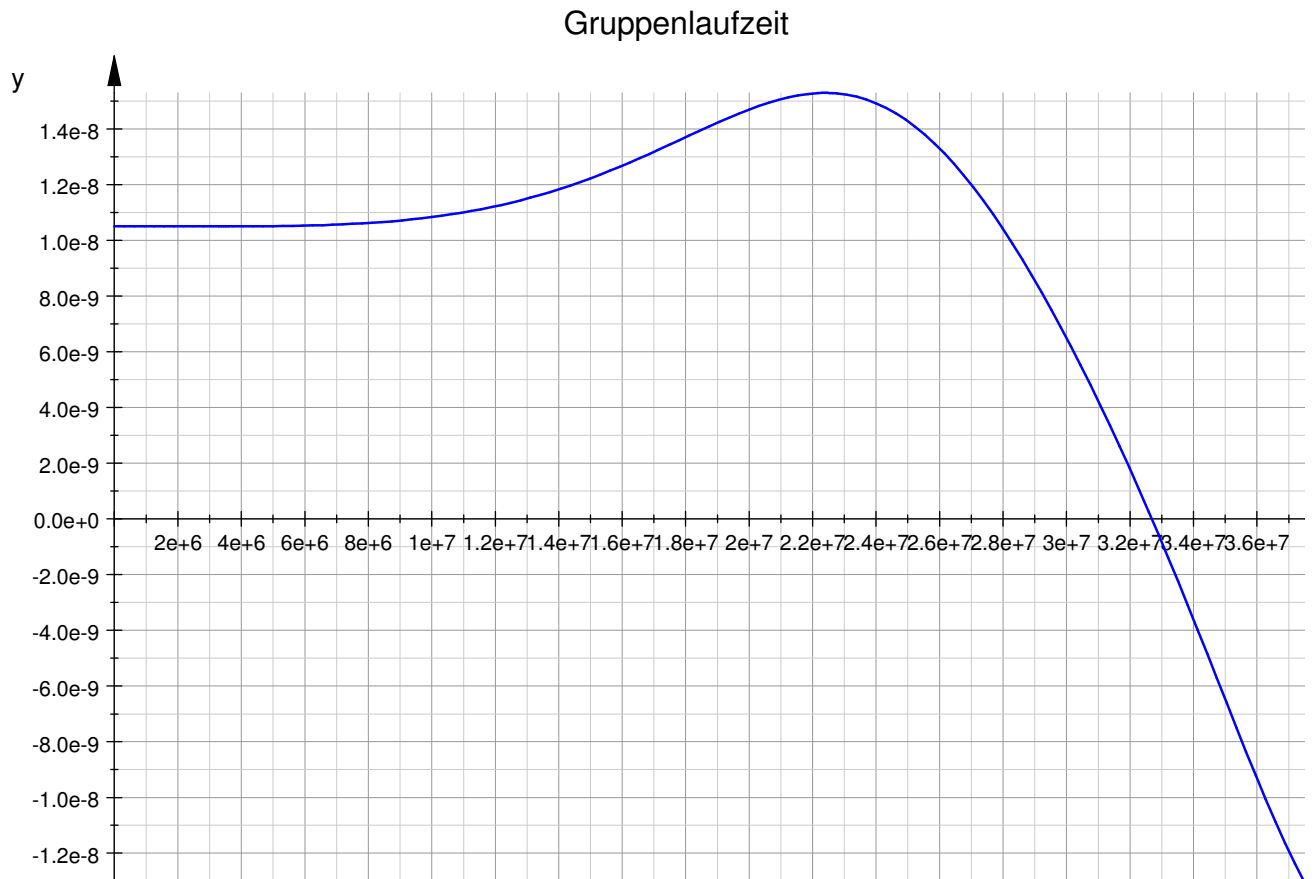
- `plotfunc2d(Winkel(f), f=0..60e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Phasenfunktion"):`

Phasenfunktion



Gruppenlaufzeit des ZOBEL-Filters

- `plotfunc2d(tg(f), f=0..37.5e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Gruppenlaufzeit"):`



Betrachtung eines PI-TP

- $C4 := 1 / 0.8 / R / 2 / \text{PI} / \text{fr}^2 :$
- $L2 := 2 * 0.8 * R / 2 / \text{PI} / \text{fr}^2 :$
- $C5 := C4 :$

die Schaltelemente C4/pF, L2/nH, C5/pF

- `float (C4/1e-12) ; float (L2/1e-9) ; float (C5/1e-12) ;`

99.471839432434584855552352107821

318.30988618379067153776752674503

99.471839432434584855552352107821

Berechnung der Übertragungsfunktion, des Phasenverlaufs und der Gruppenlaufzeit

- $Z10 := 1 / (1/R + p * C5) :$
- $Z20 := p * L2 :$
- $U2U0a := (f) \rightarrow 1 / (1 + (p * C4 + 1 / (Z10 + Z20)) * R) * Z10 / (Z10 + Z20) :$
- $U2U0dB := (f) \rightarrow 20 * \log(10, \text{abs}(U2U0a(f))) :$
- $\text{Winkela} := (f) \rightarrow 180 / \text{PI} * \text{arg}(U2U0a(f)) :$
- $\text{tga} := (f) \rightarrow -\text{diff}(\text{Winkela}(f), f) / 360 :$

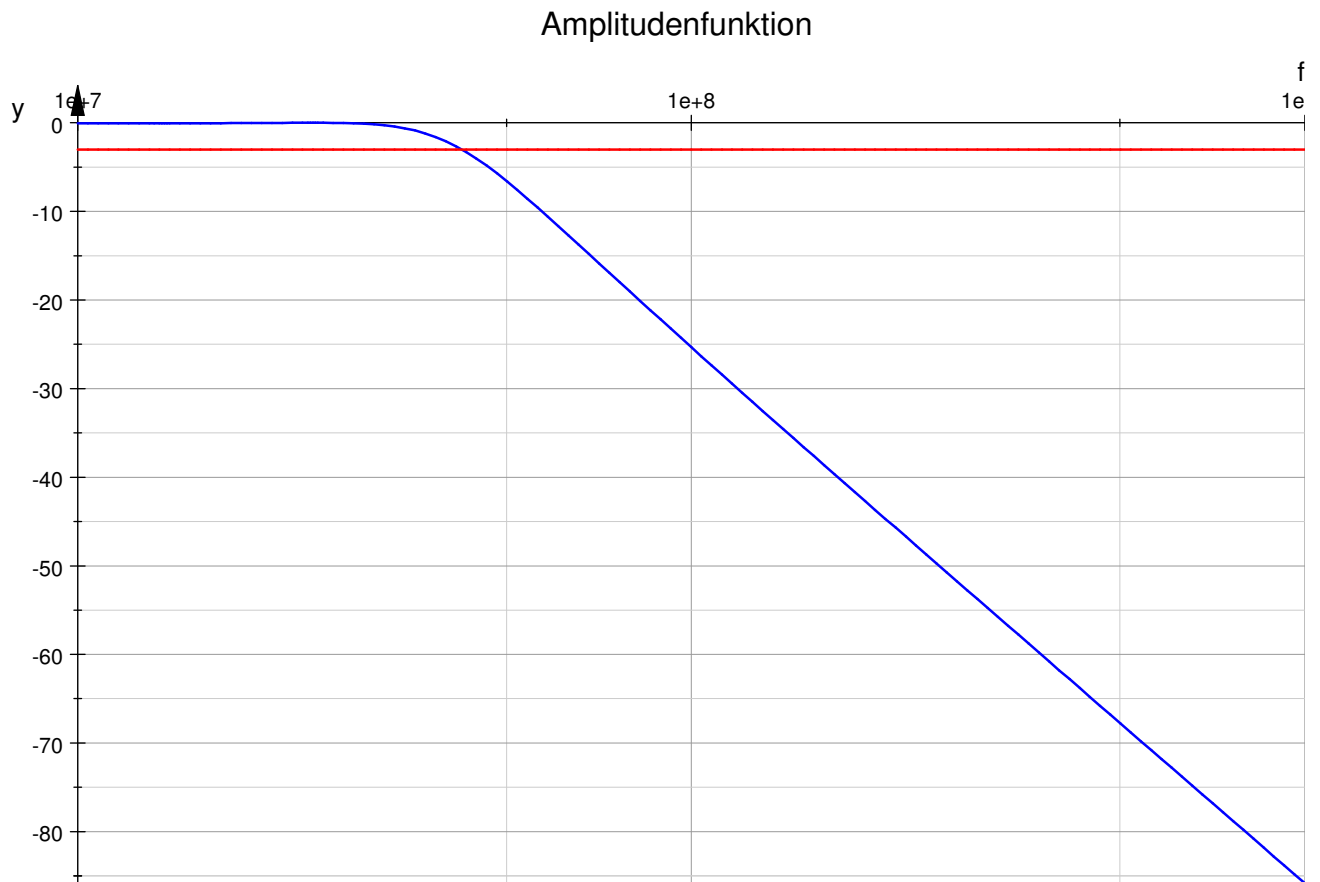
Betrag der Übertragungsfunktion des PI-Filters ohne die Grunddämpfung in dB

- `plotfunc2d(U2U0dB(f)+6.02, -3.01, f=1e7..1e9, LegendVisible=FALSE,`

```

GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm,
Width=180*unit::mm, CoordinateType=LogLin,
Header="Amplitudenfunktion"):

```



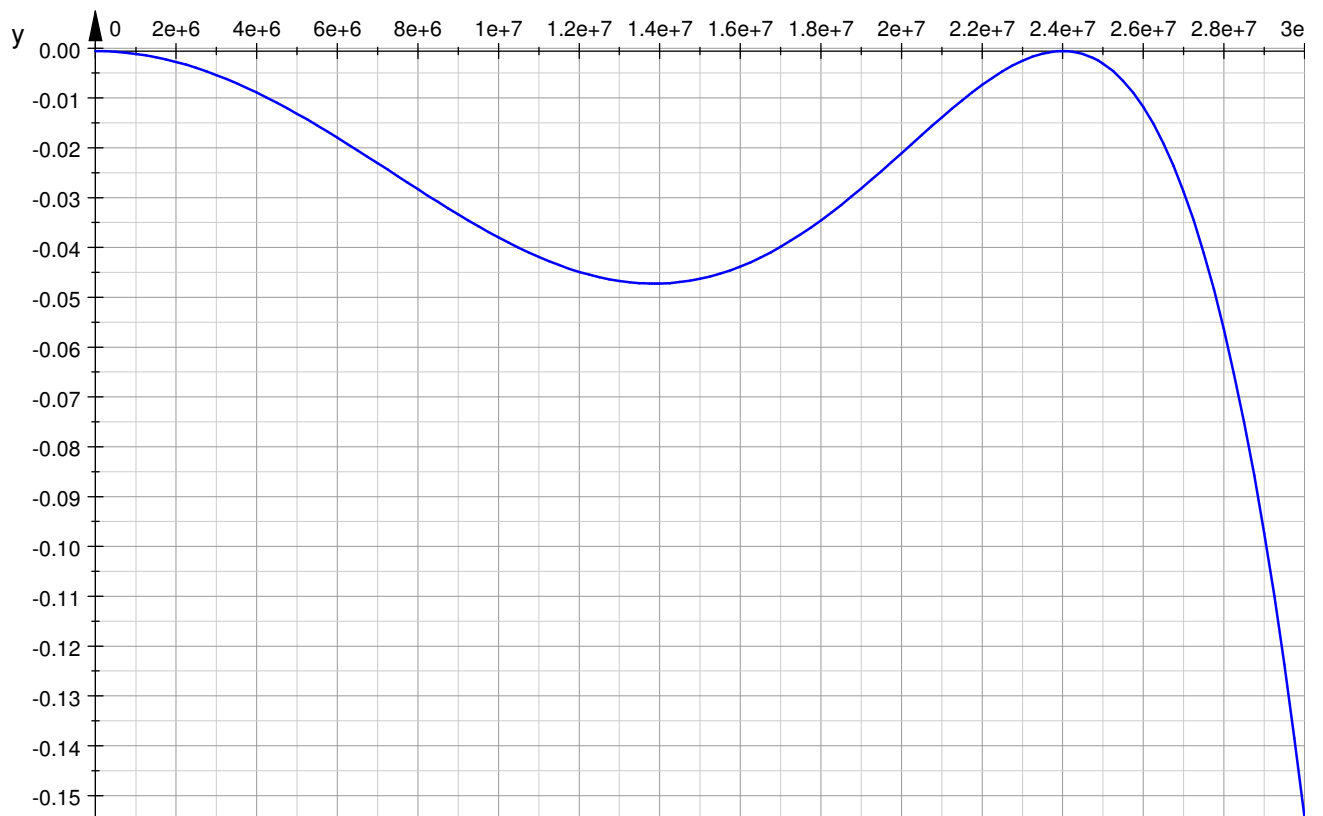
Ausschnittsvergrößerung des Betrages der Übertragungsfunktion des PI-Filters ohne die Grunddämpfung in dB

- ```

plotfunc2d(U2U0adB(f)+6.02, f=0..30e6, LegendVisible=FALSE,
GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm,
Width=180*unit::mm,
Header="Vergrößerung Amplitudenfunktion"):

```

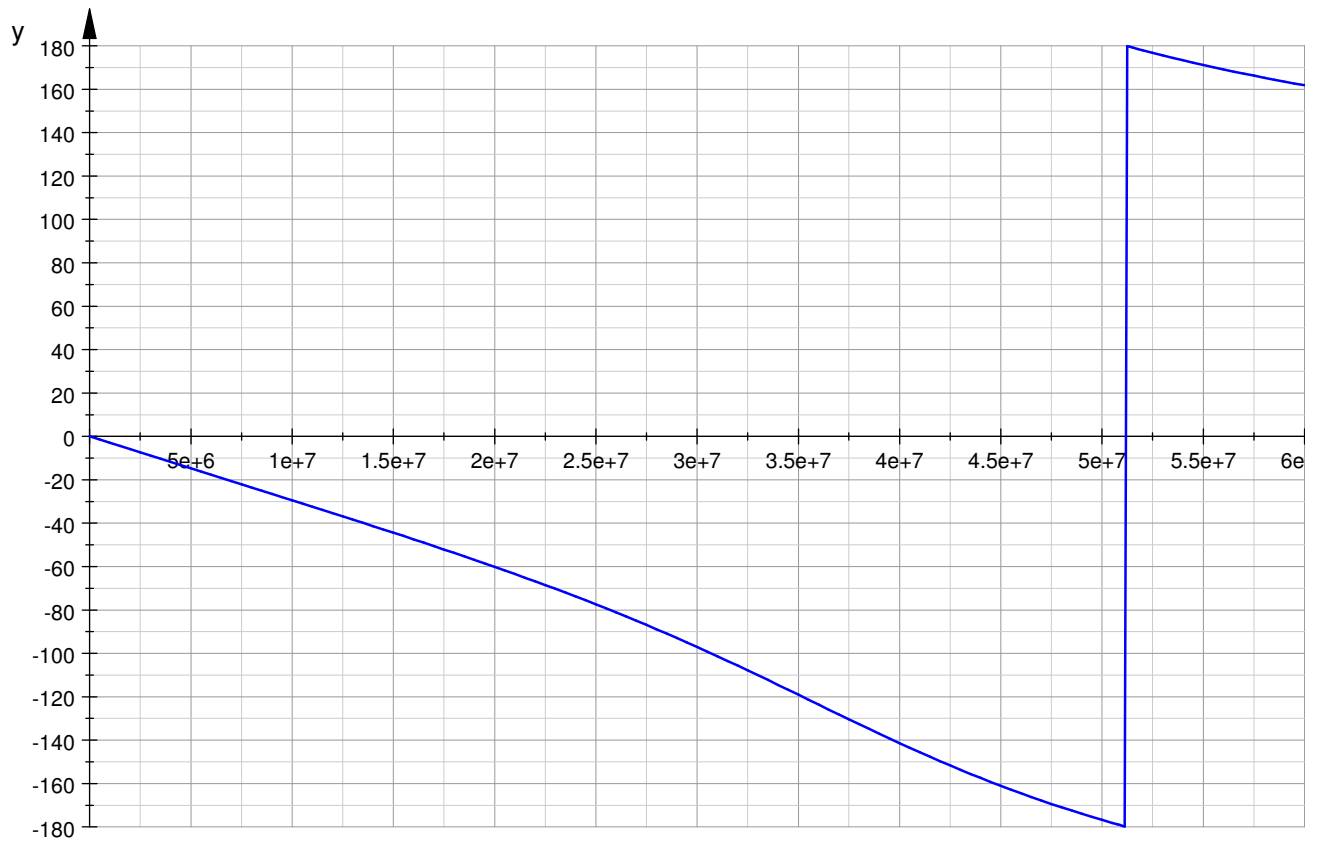
## Vergößerung Amplitudenfunktion



### Phasenverlauf des PI-Filters

- `plotfunc2d(Winkela(f), f=0..60e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Phasenfunktion"):`

## Phasenfunktion

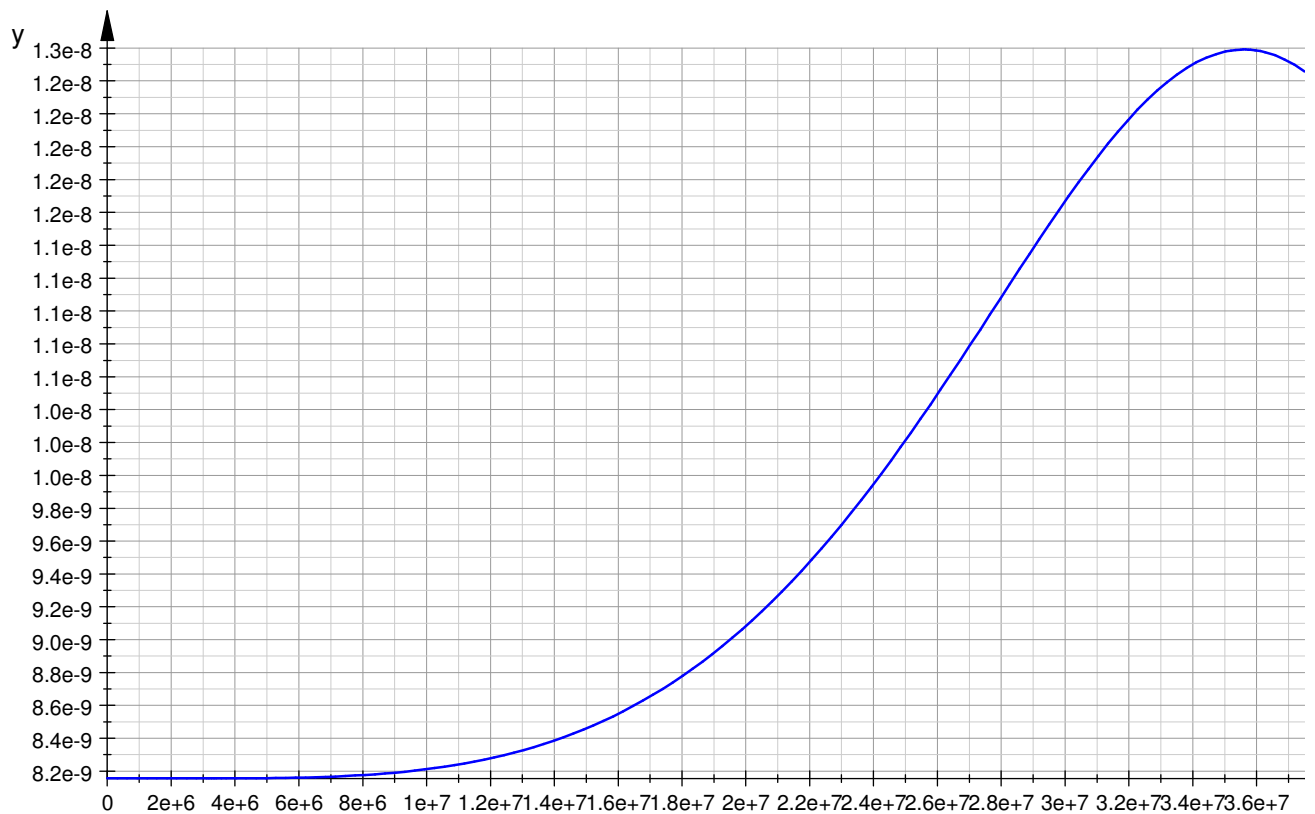


### Gruppenlaufzeit des PI-Filters

- `plotfunc2d(tga(f), f=0..37.5e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Gruppenlaufzeit"):`



## Gruppenlaufzeit



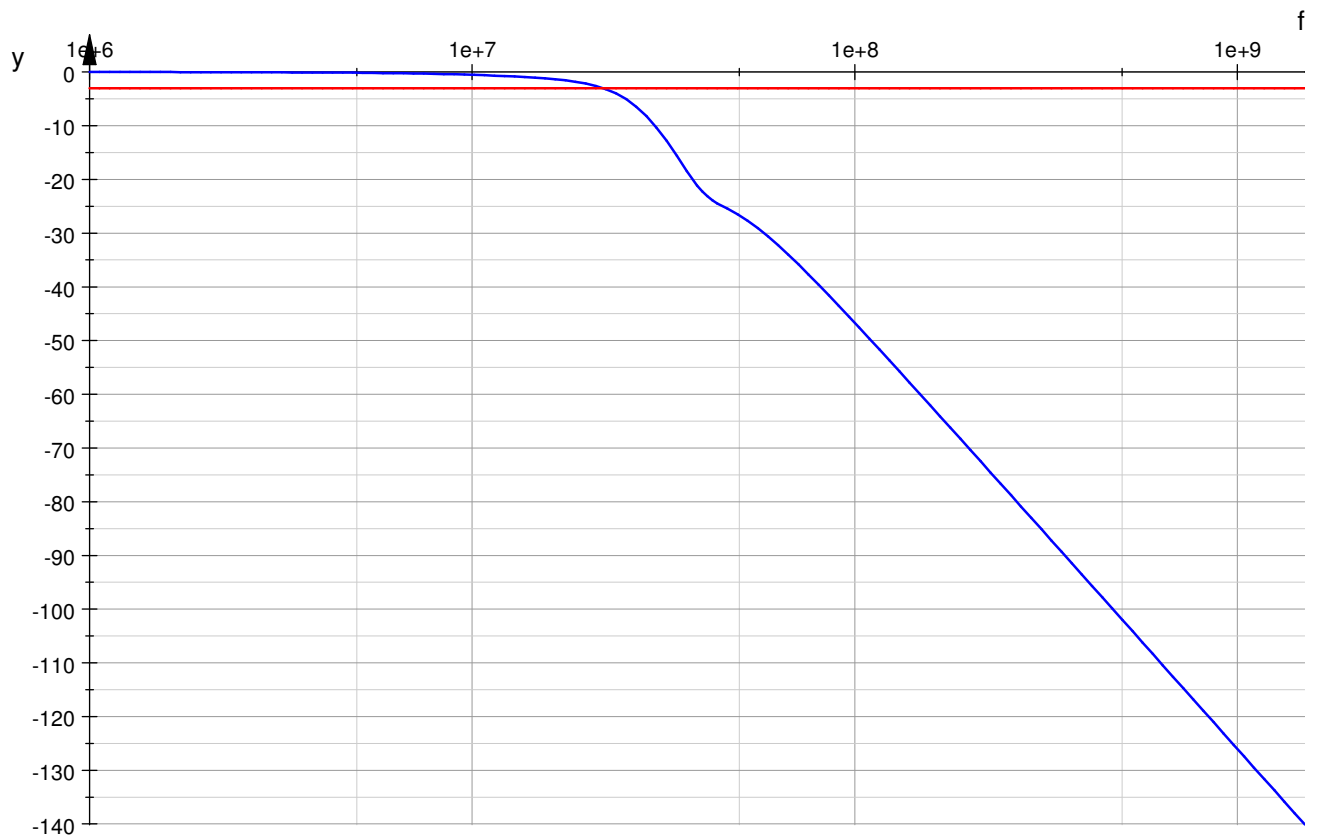
Betrag; Phasenverlauf und Gruppenlaufzeit der Übertragungsfunktion der über einen 12dB-Trennverstärker gekoppelten Filter

- $U2U0b := (f) - > 1 / ((1 + (p * C1 + 1 / (Z1 + Z2)) * R) * (1 + (p * C4 + 1 / (Z10 + Z20)) * R)) * Z1 / (Z1 + Z2) * Z10 / (Z10 + Z20) :$
- $U2U0bdB := (f) -> 20 * \log(10, \text{abs}(U2U0b(f))) :$
- $\text{Winkelb} := (f) -> 180 / \text{PI} * \text{arg}(U2U0b(f)) :$
- $\text{tgb} := (f) -> -\text{diff}(\text{Winkelb}(f), f) / 360 :$

Betrag der Übertragungsfunktion der gekoppelten Filter

- $\text{plotfunc2d}(U2U0bdB(f) + 12.04, -3.01, f = 1e6..50 * fr1, \text{LegendVisible} = \text{FALSE}, \text{GridVisible} = \text{TRUE}, \text{SubgridVisible} = \text{TRUE}, \text{Height} = 120 * \text{unit}::\text{mm}, \text{Width} = 180 * \text{unit}::\text{mm}, \text{CoordinateType} = \text{LogLin}, \text{Header} = \text{"Amplitudenfunktion"}) :$

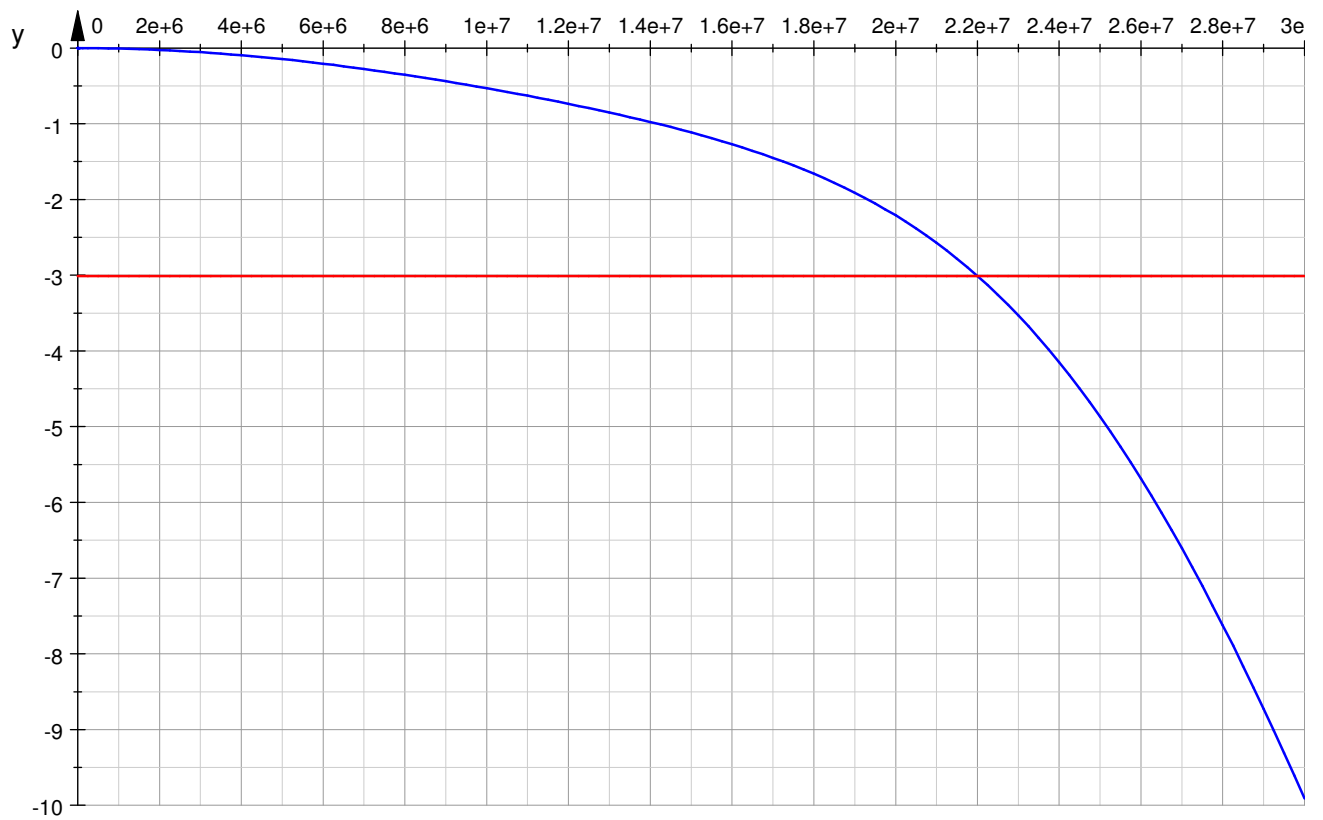
## Amplitudenfunktion



vergrößerter Ausschnitt des Betrages der Übertragungsfunktion

- `plotfunc2d(U2U0bdB(f)+12.04, -3.01, f=0..30e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Vergrößerung Amplitudenfunktion"):`

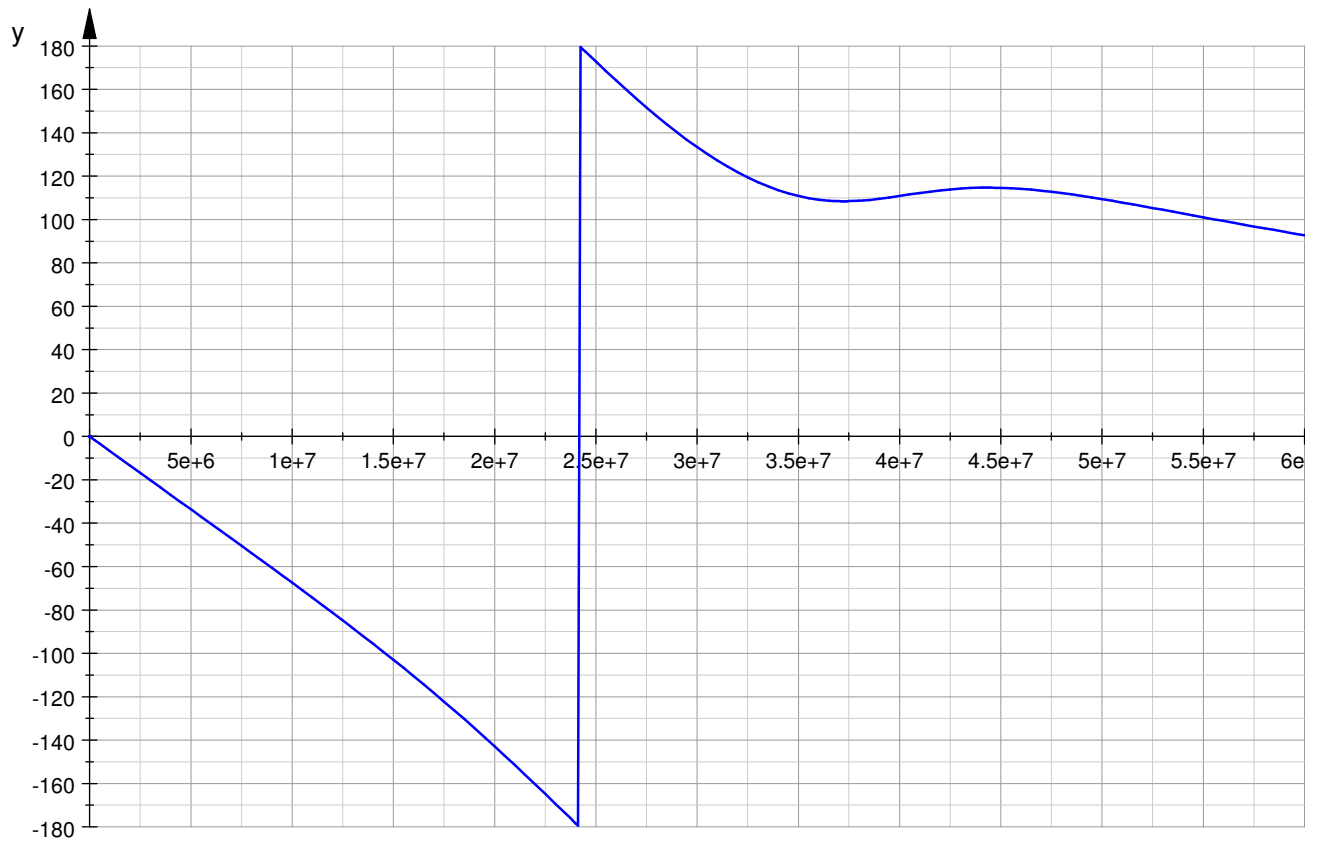
## Vergrößerung Amplitudenfunktion



### Phasenverlauf der verketteten Filter

- `plotfunc2d(Winkelb(f), f=0..60e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Phasenfunktion"):`

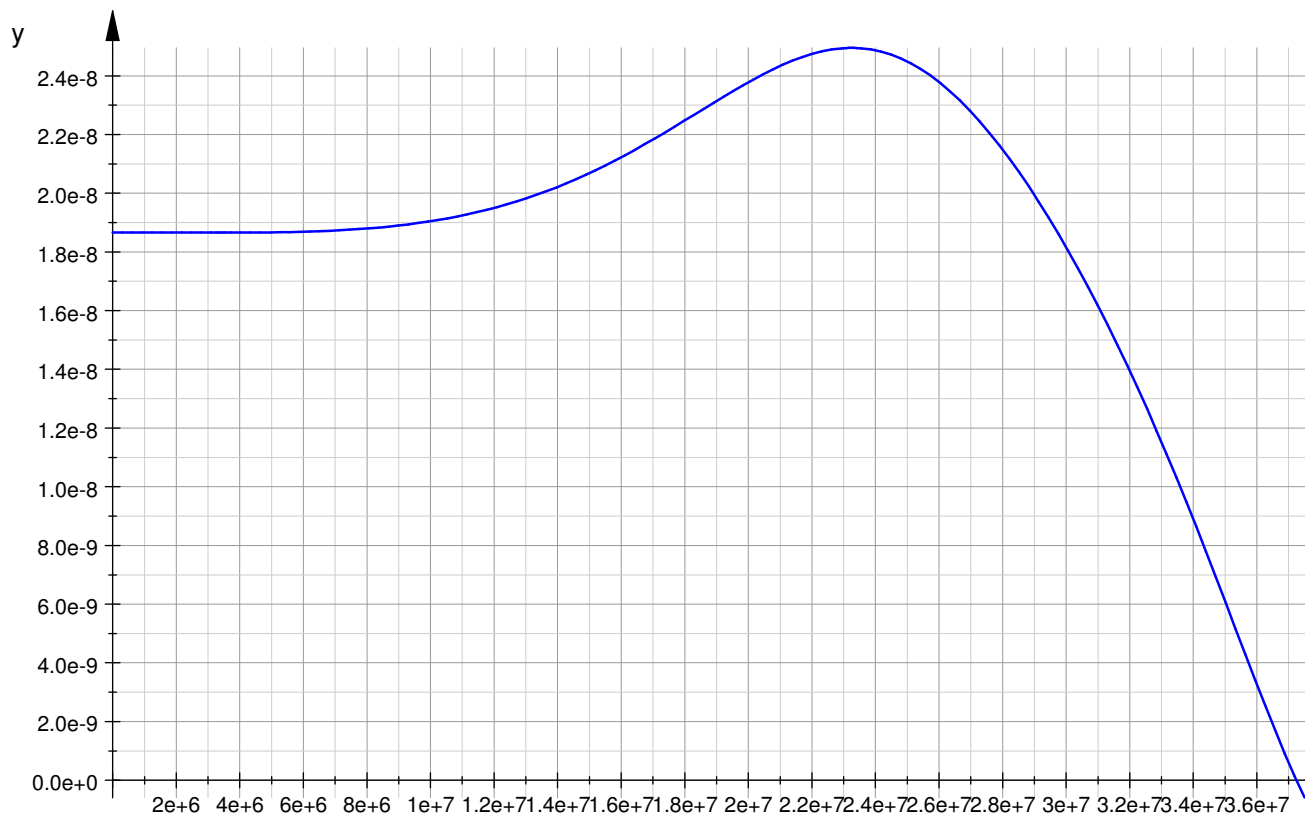
## Phasenfunktion



### Gruppenlaufzeit der Kettenschaltung

- `plotfunc2d(tgb(f), f=0..37.5e6, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Gruppenlaufzeit"):`

## Gruppenlaufzeit

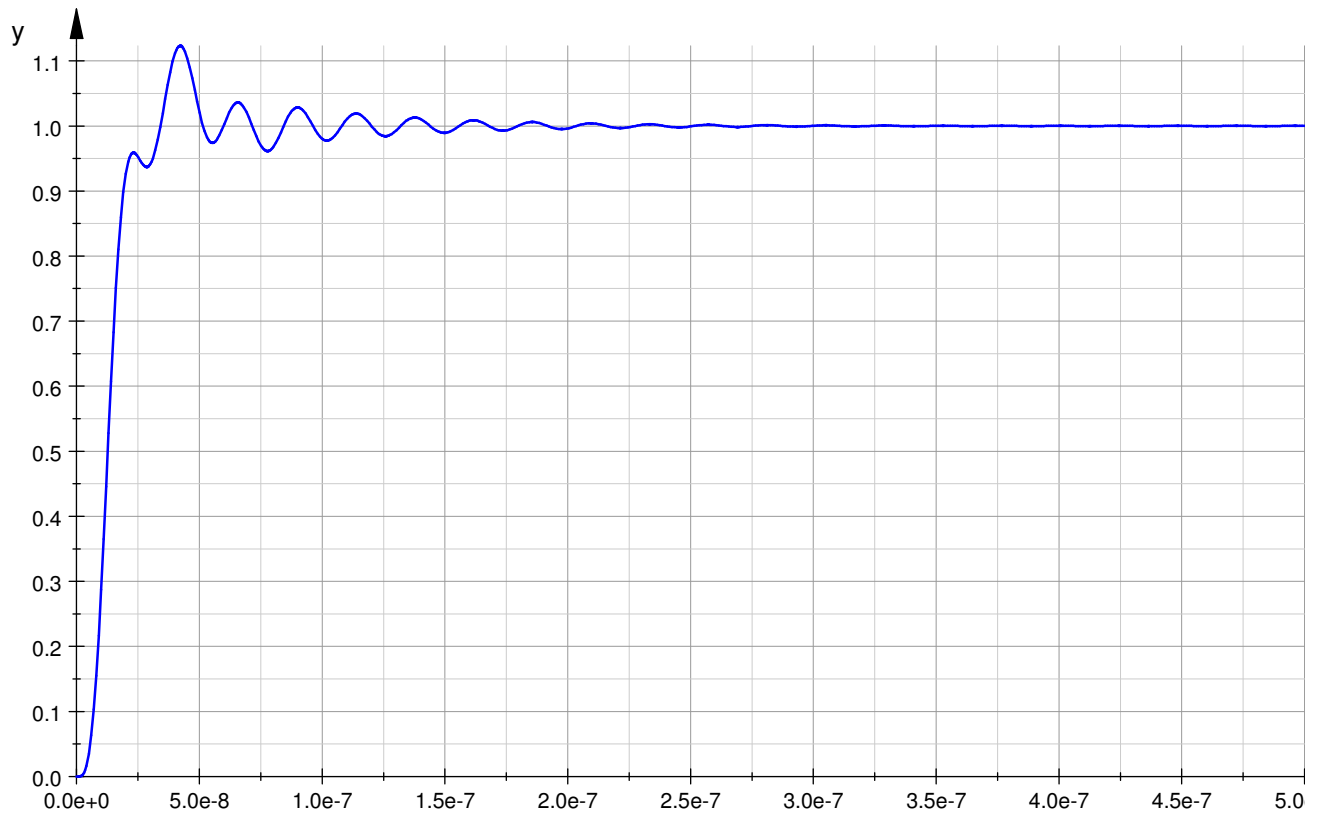


- delete p,w:
- Z1:=1/(1/R+I\*p\*C3):
- Z2:=1/(1/p/L1+p\*C2+1/Rd):
- Z10:=1/(1/R+p\*C5):
- Z20:=p\*L2:
- T:=(p) -  
>1/((1+(p\*C1+1/(Z1+Z2))\*R)\*(1+(p\*C4+1/(Z10+Z20))\*R))\*Z1/(Z1+Z2)\*Z10/(Z10+Z20):
- TN:=(p)->denom(T(p)):TZ:=(p)->numer(T(p)):

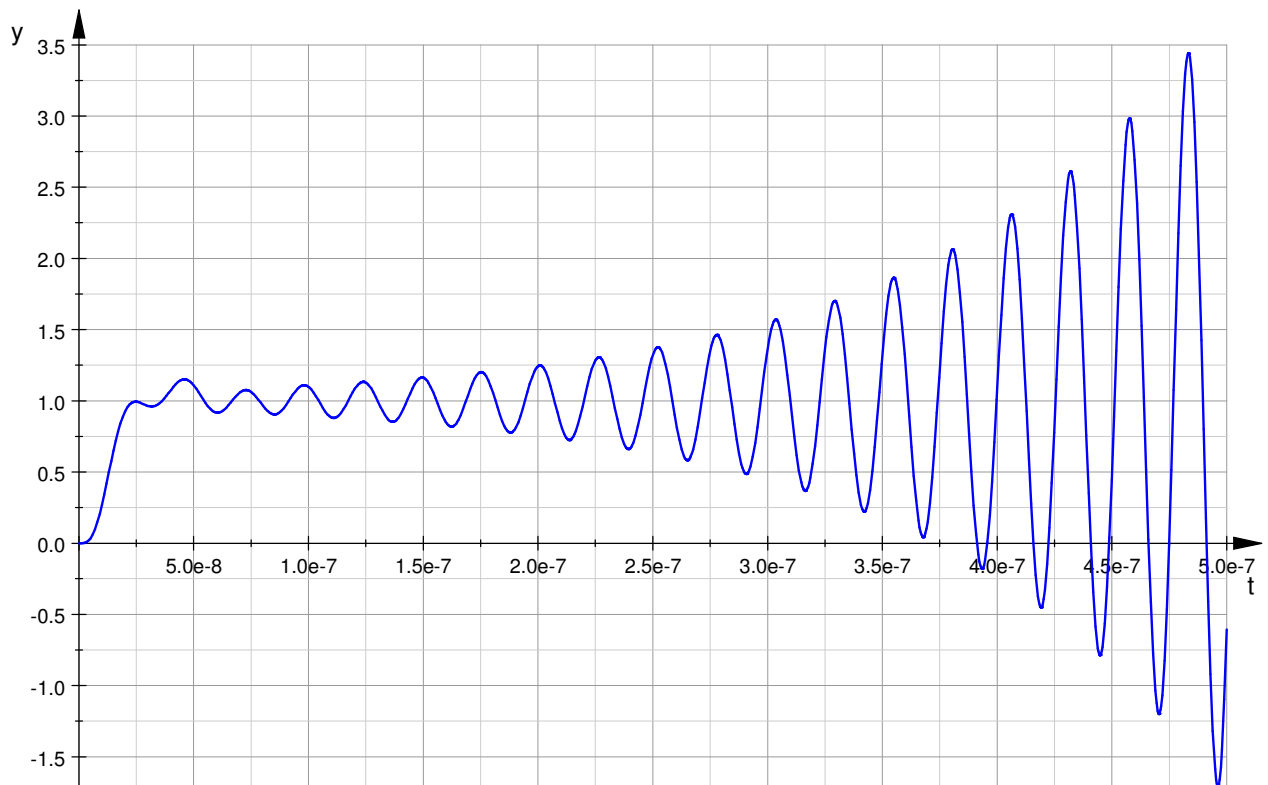
### die Berechnung der Pol-Nullstellen

- Null:=numeric::solve(TZ(p)=0,p):Pol:=numeric::solve(TN(p)=0,p):NullN:=nops(Null):PolN:=nops(Pol):
- delete i:PolyZ:=(p)->product(p-Null[i], i=1..NullN):
- delete i:PolyN:=(p)->product(p-Pol[i], i=1..PolN):
- ua:=(t) -  
>5.7635038308e32\*Re(transform::invlaplace(a0/p\*PolyZ(p)/PolyN(p),p,t)):
- plotfunc2d(ua(t), t=0..20/fp1, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, Mesh=500, AdaptiveMesh=4, SubgridVisible=TRUE, Height=120\*unit::mm, Width=180\*unit::mm, CoordinateType=LinLin, Header="Sprungantwort Dämpfungswiderstand = 200 Ohm"):

Sprungantwort Dämpfungswiderstand = 200 Ohm



## Sprungfunktion Dämpfungswiderstand = 2000 Ohm



Ausschnittsvergrößerung der Sprungantwort

Suchbereich definieren

- `anf:=5e-9;ende:=4.5e-8;`

Überschwingen in % bei t in ns

- `maximum:=op(numeric::solve(diff(ua(t),t)=0,t=anf..ende,RestrictedSearch),1):`

- `(ua(maximum)-1)*100;maximum/1e-9;`

12.297870246250635269687073995786

42.21166048806190008741160276026

to für  $ua(t)=1/2$  in ns

- `tx:=op(numeric::solve(Re(ua(t))=1/2,t=0..maximum,RestrictedSearch),1):tx/1e-9;`

12.686094285629800459332896684979

die Einschwingzeit tau in ns und die daraus resultierende Grenzfrequenz in MHz

- `m:=ua'(t):t:=tx:m:=float(m):delete t:yt:=t->1/2-m*(tx-t):`
- `tau:=op(solve(yt(t)=1,t),1)-op(solve(yt(t)=0,t),1):tau/1e-9;1/2/tau/1e6;`

12.229115387634507463572012422285

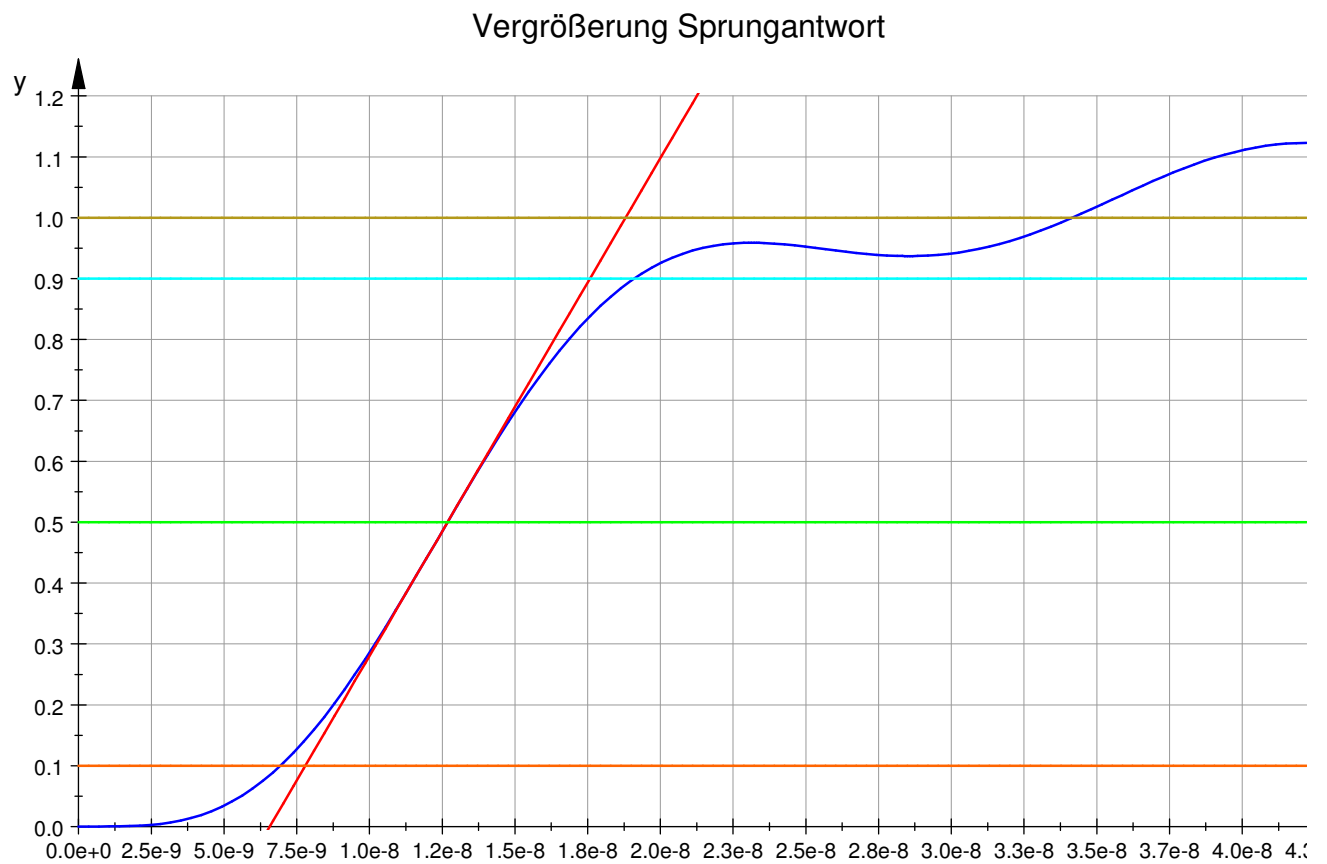
40.886031748917499006951645393815

tr, Rise-Time in ns

- `tr:=op(numeric::solve(ua(t)=9/10,t=anf..ende,RestrictedSearch),1)-op(numeric::solve(ua(t)=1/10,t=anf..ende,RestrictedSearch),1):tr/1e-9;`

12.155675761830298324154680069765

- `plotfunc2d(ua(t), yt(t), 1/2, 1, 1/10, 9/10, t=0..maximum, LegendVisible=FALSE, CoordinateType=LinLin, GridVisible=TRUE, SubgridVisible=FALSE, Height=120*unit::mm, Width=180*unit::mm, Header="Vergrößerung Sprungantwort", YRange=0..1.2):`



Impulsantwort

- `ua:=(t)->5.7635038308e32*Re(transform::invlaplace(a0*PolyZ(p)/PolyN(p),p,t))`
- `plotfunc2d(ua(t), t=0..20/fp1, LegendVisible=FALSE, GridVisible=TRUE, Mesh=500, AdaptiveMesh=4, SubgridVisible=TRUE, Height=120*unit::mm,`



