

Inverter SYNEG:

SCH SYNEG E-A-P-M

\*(BN=24. 61392934, BP=75. 38607067, GEN=2)  
\* SYMMETRISCHER INVERTER UINV=2. 5000 V  
\* EIGENLAST IDENTISCH NEG1-STAZ  
\* 18. 7. 85 >>>GH<<<

TN1 E-A-M-M=ENC (BN=24. 61392934, GEN=2)  
TP2 E-A-P-P=EPC (BP=75. 38607067, GEN=2)

Transistorschaltungen:

SCHALTUNG: ENC G-D-S-B (BN=16, LN=6, GEN=2)

=====

ENHANCEMENT-TRANSISTOR N-KANAL CSGT2N  
WAEHLBARE KAPAZITAETSGENAUIGKEIT (GEN=0, 1, 2)  
Version vom 18. 07. 1985 >>Heinz/EE2<<<

=====

IDS D-S=CTRA(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BN, LN, 1)  
CGD G-D=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BN, LN, 1, 1, GEN)  
CGS G-S=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BN, LN, 1, 2, GEN)  
CGB B-S=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BN, LN, 1, 3, GEN)  
CDB D-B=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BN, LN, 1, 4, GEN)

SCHALTUNG: EPC G-D-S-B (BP=16, LP=6, GEN=2)

=====

ENHANCEMENT-TRANSISTOR P-KANAL CSGT2N  
WAEHLBARE KAPAZITAETSGENAUIGKEIT (GEN=0, 1, 2)  
Version vom 18. 07. 1985 >>Heinz/EE2<<<

=====

IDS S-D=CTRA(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BP, LP, 2)  
CGD D-G=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BP, LP, 2, 1, GEN)  
CGS S-G=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BP, LP, 2, 2, GEN)  
CGB S-B=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BP, LP, 2, 3, GEN)  
CDB B-D=CKAP(U: CGS, U: IDS, U: CGB, BP, LP, 2, 4, GEN)

Stromquelle  $I_{DS}$ :

```
REAL*8 FUNCTION CTRA(UGS, UDS, UGB, B, L, TRS)
IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
INTEGER*2 J
ANALOG-ENHANCEMENT-TRANSISTORMODELL N- UND P-KANAL
FUER ZWEIGSPANNUNGSANALYSE
NACH CMOSTA (ZFTM) VOM 13. 11. 81
INT 18. 7. 85 >>>GH<<<
```

```
K11 (in uA/V**2) STETS POSITIV BEI P- UND N-KANAL
K11, K21, UT01-PARAMETER BEI L=UNENDLICH UND B=UNENDLICH
BETA2=K(1)=K11+K12/LEL+K13/BEL
K2=K21+K22/LEL+K23/BEL
K3=K31+K32/LEL
K4=K41+K42/LEL
K5=K51+K52/LEL
UT0=K(6)=UT01+UT02/LEL+UT03/BEL
DELTAB=DB
DELTAL=DL
VF2=VF2
```

```
POLARITAETEN DER ZWEIGSPANNUNGEN:
UGS: G->S: POS., UDS: D->S: POS., UBS: B->S: NEG. --- N-KANAL
UGS: S->G: POS., UDS: S->D: POS., UBS: S->B: NEG. --- P-KANAL
BEIM P-KANAL SIND IM MODELL DIE ZWEIGRICHTUNGEN ZU VERTAUSCHEN,
DAMIT VORZEICHEN DER ZWEIGSPANNUNGEN IN DIESER ORIENTIERUNG
VERBLEIBEN. EVTL. VERTAUSCHTE SOURCE- UND DRAIN-ANSCHLUESSE KORRIGIERT
DAS MODELL EIGENSTAENDIG.
```

```
TRS=1: N-KANAL-PARAMETERSATZ
TRS=2: P-KANAL-PARAMETERSATZ
```

```
M=1: UDS>VS
M=-1: UDS<VS (WIRD VOM MODELL EIGENSTAENDIG KORR.)
```

```
T(I, 1)= N-KANAL
T(I, 2)= P-KANAL
```

```
DATA /K11, K12, K13, K21, K22, K23, K31, K32, K41, K42, K51, K52, UT01,
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
UT02, UT03, DB, DL, VF2, VEB, XJ, COX, CRAND, CSPER, SAKT, EXP, WURZ, ...
14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
```

```
DIMENSION T(26, 2)
```

```
DATA T/19. 47, 63. 72, 75. 08, 1. 144, -. 5488, . 3816, . 056, . 3161, 8E-4,
F . 0564, . 7311, -. 503, 1. 178, -1. 72, . 3781, -2. 5, -1. 5, . 66, -1. 3, . 7, 5E-4,
F 5E-4, 6E-5, 8. . . 5, . 418,
F 5. 678, 2. 643, -4. 165, . 41, -. 223, 2. 697, . 0588, . 4331, 76E-5, 1169,
F . 8385, . 0584, . 9049, . 3921, . 7749, -2. 5, -2. 1, . 59, -1. 3, . 7, 5E-4, 5E-4,
F 6E-5, 8. . . 5, . 153/
```

```
IF (TRS. EQ. 1) THEN
```

```
J=1
ELSE
J=2
ENDIF
```

```
BEL=B+T(16, J)
LEL=L+T(17, J)
K10=(T(1, J)+T(2, J)/LEL+T(3, J)/BEL)*1E-3
K20=T(4, J)+T(5, J)/LEL+T(6, J)/BEL
K30=T(7, J)+T(8, J)/LEL
K40=T(9, J)+T(10, J)/LEL
K50=T(11, J)+T(12, J)/LEL
K60=T(13, J)+T(14, J)/LEL+T(15, J)/BEL
```

```
UBS=UGS-UGB
IF (UDS. LT. 0. 0) THEN
VG=UGS-UDS
VB=UBS-UDS
VD=-UDS
M=-1. 0
ELSE
VG=UGS
VB=UBS
VD=UDS
M=1. 0
ENDIF
```

```
IF (VB. LT. 0. 0) THEN
UET=K60+K20*(DSQRT(-VB+T(18, J))-DSQRT(T(18, J)))
ELSE
UET=K60
ENDIF
```

```

IREST=VD*1E-9*BEL/(LEL*15.)
VSAT=K50*(VG-UET)
KO=K10*BEL/(LEL*(1+K30*(VG-UET)))
K54=K40*K50*(VG-K60)

```

```

IF (VSAT.LT.-K54*VD) THEN
IDS=IREST
GOTO 1000

```

```

ELSE
IF (VSAT.GT.VD) THEN
IDS=KO*VD*(2.*VSAT*(K54+1.)+VD*(K54**2-1.))+IREST
GOTO 1000

```

```

ELSE
IDS=(KO*(VSAT+K54*VD)**2)+IREST
GOTO 1000
ENDIF
ENDIF
CTRA=IDS*M
RETURN
END

```

1000

Transistorkapazitäten:

```

REAL*8 FUNCTION CKAP(UGS, UDS, UGB, B, L, TRS, KAP, GEN)
IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
INTEGER*2 J

```

```

ANALOG-ENHANCEMENT-TRANSISTORMODELLKAPAZITAETEN
SPANNUNGSABHAENGIGE ODER KONSTANTE MODELLIERUNG
N- UND P-KANAL; GATE-SOURCE- UND GATE-DRAIN-KAPAZITAET
FUER ZWEIGSPANNUNGSANALYSE
NACH CMOSTA VOM 13.11.81, CMOSEST UND KAPPAT (ZFTM)
INT 18.7.85 >>>GH<<<

```

```

POLARITAETEN DER ZWEIGSPANNUNGEN:
UGS: G->S: POS., UDS: D->S: POS., UBS: B->S: NEG. --- N-KANAL
UGS: S->G: POS., UDS: S->D: POS., UBS: S->B: NEG. --- P-KANAL
BEIM P-KANAL SIND IM MODELL DIE ZWEIGRICHTUNGEN ZU VERTAUSCHEN,
DAMIT VORZEICHEN DER ZWEIGSPANNUNGEN IN DIESER ORIENTIERUNG
VERBLEIBEN. EVTL. VERTAUSCHTE SOURCE- UND DRAIN-ANSCHLUESSE KORR.
GIERT DAS MODELL EIGENSTAENDIG.

```

```

TRS=1: N-KANAL-PARAMETERSATZ
TRS=2: P-KANAL-PARAMETERSATZ

```

```

KAP=1: GATE-DRAIN-KAPAZITAET
KAP=2: GATE-SOURCE-KAPAZITAET
KAP=3: GATE-BULK-KAPAZITAET
KAP=4: DRAIN-BULK-KAPAZITAET

```

```

GEN=0: KONSTANTE KAPAZITAETEN
GEN=1: SPANNUNGSABHAENGIGE MOD. (UTE=f(VB))
GEN=2: SPANNUNGSABH. MOD. (MIT KURZ-& SCHMALKAN. EFF.)

```

```

M=1: UDS>VS
M=-1: UDS<VS (WIRD VOM MODELL EIGENSTAENDIG KORR.)

```

K11, K21, UT01-PARAMETER BEI L=UNENDLICH UND B=UNENDLICH

```

T(I,1)= N-KANAL
T(I,2)= P-KANAL

```

```

DATA /K11, K12, K13, K21, K22, K23, K31, K32, K41, K42, K51, K52, UT01,
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
UT02, UT03, DB, DL, VF2, VEB, XJ, CDX, CRAND, CSPER, SAKT, EXP, WURZ, etc.
14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26

```

```

DIMENSION T(26,2)
DATA T/19.47, 63.72, 75.08, 1.144, -.5488, .3816, .056, .3161, 8E-4,
.0564, .7311, -.503, 1.178, -1.72, .3781, -2.5, -1.5, .66, -1.3, .7, 5E-4,
5E-4, 6E-5, 8., .5, .418,
5.678, 2.643, -4.165, .41, -.223, 2.697, .0588, .4331, 76E-5, .1169,
.8385, .0584, .9049, .3921, .7749, -2.5, -2.1, .59, -1.3, .7, 5E-4, 5E-4,
6E-5, 8., .5, .153/

```

DATA PI/3.1415926535898D0/

```

IF (TRS.EQ.1) THEN
J=1
ELSE
J=2
ENDIF

```

```
BEL=B+T(16, J)
IF (KAP. EQ. 4) GOTO 100
```

```
LEL=L+T(17, J)
CO=T(21, J)*BEL*LEL
```

CC

C KONSTANTE KAPAZITAETEN (GEN=0)

```
IF (GEN. EQ. 0) THEN
IF (KAP. EQ. 3) THEN
CKAP=0
RETURN
ENDIF
IF (KAP. EQ. 1) THEN
CKAP=.333*CO
RETURN
ENDIF
IF (KAP. EQ. 2) THEN
CKAP=.666*CO
RETURN
ENDIF
```

ENDIF

CC

C SPANNUNGSABH. KAPAZITAETEN (GEN=1, 2)

```
UBS=UGS-UGB
IF (UDS. LT. 0. 0) THEN
VG=UGS-UDS
```

```
VB=UBS-UDS
VD=-UDS
M=-1
ELSE
VG=UGS
VB=UBS
VD=UDS
M=1
ENDIF
```

```
CXJ=T(21, J)*BEL*T(20, J)
UT00=T(13, J)+T(14, J)/LEL+T(14, J)/BEL
```

```
IF (GEN. EQ. 2) THEN
IF (VB. LT. 0. 0) THEN
K20=T(4, J)+T(5, J)/LEL+T(6, J)/BEL
K50=T(11, J)+T(12, J)/LEL
UET=UT00+K20*(DSQRT(-VB+T(18, J))-DSQRT(T(18, J)))
VSAT=K50*(VG-UET)
ELSE
UET=UT00
VSAT=T(11, J)*(VG-UET)
ENDIF
ELSE
UET=UT00-T(26, J)*VB
VSAT=T(11, J)*(VG-UET)
ENDIF
```

C GATE-BULK-KAPAZITAET:

```
IF (KAP. EQ. 3) THEN

IF (GEN. EQ. 1) THEN
KMIN=.333
VX=-T(19, J)*.333
IF (VSAT. LE. T(19, J)) THEN
CKAP=CO
RETURN
ENDIF
IF (VSAT. GT. VX) THEN
CKAP=0
RETURN
ELSE
CKAP=CO*(.333+.667*VSAT/T(19, J))
RETURN
ENDIF
ENDIF
```

```

IF (GEN. EQ. 2) THEN
KMIN=. 1+. 15*UET
VX=-T(19, J)/(1/KMIN-1)
IF (VSAT. LE. T(19, J)) THEN
CKAP=CO
RETURN
ENDIF
IF (VSAT. GT. VX) THEN
CKAP=0
RETURN
ELSE
CKAP=CO*(KMIN-VSAT/T(19, J))*(KMIN-1)
RETURN
ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

C GATE-SOURCE-KAPAZITAET:

```

IF (KAP. EQ. 2) THEN
IF (VSAT. LE. -. 1) THEN
CKAP=CXJ
RETURN
ENDIF
IF (VSAT. LE. 0) THEN
CKAP=CXJ+. 667*CO*(DSIN(5*PI*(. 1+VSAT)))**2+CXJ
RETURN
ENDIF
IF (VSAT. LE. VD) THEN
CKAP=CXJ+. 667*CO
RETURN
ELSE
CKAP=CXJ+. 667*CO*(1-((VSAT-VD)/(2*VSAT-VD)))**2)
RETURN
ENDIF
ENDIF

```

C GATE-DRAIN-KAPAZITAET:

```

IF (KAP. EQ. 1) THEN
IF (VSAT. LE. 0) THEN
CKAP=CXJ
RETURN
ENDIF
IF (VSAT. LE. VD) THEN
CKAP=CXJ
RETURN
ELSE
CKAP=CXJ+. 667*CO*(1-(VSAT/(2*VSAT-VD)))**2)
RETURN
ENDIF
ENDIF

```

C DRAIN-BULK-SPERRSCHICHTKAPAZITAET:

```

100 CAKT=T(24, J)*BEL*T(23, J)+(2*BEL+2*T(24, J))*T(22, J)
IF (GEN. EQ. 1. OR. GEN. EQ. 0) THEN
CKAP=CAKT
RETURN
ELSE
IF (UDB. LT. -. 699) THEN
CKAP=CAKT*. 001**(-T(25, J))
ELSE
CKAP=CAKT*((. 7+UDB)**(-T(25, J)))
ENDIF
RETURN
ENDIF
END

```

Verknüpfungen komplementärer Funktionen (Identitäten)

Notation:

$$x = 1 - x^*$$

Normierung:

$$x = x/X_0$$

Zentrierung:

$$x = 1/2 + x^*; \quad x^* = 1/2 - x^*$$

Dezentrierung:

$$x^* = x - 1/2; \quad x^* = 1/2 - x^*$$

Funktionen einer Variablen:

$$a + a^* = 1$$

$$a - a^* = a^2 - a^{*2} = 2a - 1$$

$$a^2 + a^{*2} = 2a^2 - 2a + 1$$

$$a^*/a = 1/a - 1$$

$$e^a - e^{a^*} = 2e^{1/2} \sinh(a - 1/2)$$

$$e^a + e^{a^*} = 2e^{1/2} \cosh(a - 1/2)$$

Funktionen zweier Variablen:

$$a - b = b^* - a^* = -(a^* - b^*)$$

$$(a - b) - (a^* - b^*) = 2(a - b)$$

$$(a - b) + (a^* - b^*) = 0$$

$$ab - a^*b^* = a + b - 1$$

$$(a - b)^2 - (a^* - b^*)^2 = 0$$

$$(a - b)^2 + (a^* - b^*)^2 = 2(a - b)^2$$

$$e^a - b - e^{a^*} - b^* = 2 \sinh(a - b)$$

$$e^a - b + e^{a^*} - b^* = 2 \cosh(a - b)$$

$$ae^b - a^*e^{b^*} = e^{1/2}(\sinh(b - 1/2) + 2(a - 1/2)\cosh(b - 1/2))$$

$$ae^b - a^*e^{b^*} = e^{1/2}(\cosh(b - 1/2) + 2(a - 1/2)\sinh(b - 1/2))$$

$$e^{ax} - by - e^{ax^*} - by^* = 2e^{(a-b)/2} \sinh(ax - by - (a-b)/2)$$

$$e^{ax} - e^{ax^*} = 2e^{a/2} \sinh(ax - a/2)$$

Sinusförmige Meßflanke:

FORTRAN-Prozedur für Netzwerksimulator NIFAN.

```
REAL*8 FUNCTION EDGE(UDD, UINV, TO, FE)
IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
COMMON/STW/T
```

```
*
* Unsymmetrische Sinusquadrat-Flanke
* mit vorgegebener Flankensteilheit
* zu vorgegebener Zeit und Schwellspannung
*
* UDD: Spannungshub [V]
*
* FE: normierte Flankensteilheit bei (TO, UINV)
* in [GHz]  $fe = 1/Udd * dU/dt$ 
*
* TO: Zeitpunkt des Durchlaufens von UINV mit
* vorgegebener Flankensteilheit [ns]
*
* UINV: Inverterschwellspannung fuer TO-Durchlauf [n
```

```
*
* DATA PI /3.1415826535898/
* DATA PI2 /1.5707963267949/
* DUDT=FE*UDD
* DL=UINV/DUDT
* DLP=DL*PI2
* DH=(UDD-UINV)/DUDT
* DHP=DH*PI2
* TT=T-TO
```

```
IF (FE. GE. 0) THEN
WX=0
WY=UDD
TX=-DLP
TY=DHP
UX=UINV
UY=UDD-UINV
TNX=DL
TNY=DH
```

```
ELSE
WX=UDD
WY=0
TX=DHP
TY=-DLP
UX=UDD-UINV
UY=UINV
TNX=DH
TNY=DL
ENDIF
```

```
IF (TT. LE. TX) THEN
EDGE=WX
RETURN
ENDIF
```

```
IF (TT. GE. TY) THEN
EDGE=WY
RETURN
ENDIF
```

```
IF (TT. LT. 0) THEN
UO=UX
TN=TNX
ELSE
UO=UY
TN=TNY
ENDIF
```

```
EDGE=UINV+UO*SIN(TT/TN)
RETURN
END
```

## ANLAGE 4

Simulationsschaltung zur Aufnahme des dynamischen Transferkennlinienfeldes des Inverters SYNEG.

```
SE: PLUS=2. 5, M=0, TO=1, FE=1
RE: S
RE: D, A=0, E=1, T=I
RE: D, A=1, E=3. 6, T=I
DIA: X=T, Z=T, U=1, YZ=UK: A1, UK: A2, UK: A3, UK: A4, UK: A5, UK: A6, UK: A7,
      UK: A8, UK: A9, UK: A10,
      TI="XVOLT, SYNEG, m=0, t0=1E0, fe=1E0GHz*(1. . . 100), te=2. 6ns, UDD=2. :
```

```

;      Mx: ANZAHL DER OXIDKAPAZITAETEN AN UKA (LASTFAKTOR)
;      CN'= 3. 0975*(BN-2. 5) fF          CN(25µm)=0. 069375 pF
;      CP'= 2. 7825*(BP-2. 5) fF          CP(75µm)=. 201731 pF
;      COX= 69. 69375 + 201. 73125 fF = 0. 271425 pF
```

SCHALTUNG: XVOLT

```
UPL PL-ERDE='PLUS'
UE1 E1-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', 'FE')
UE2 E2-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', -'FE')
UE3 E3-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', 3. 16*'FE')
UE4 E4-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', -3. 16*'FE')
UE5 E5-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', 10*'FE')
UE6 E6-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', -10*'FE')
UE7 E7-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', 31. 6*'FE')
UE8 E8-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', -31. 6*'FE')
UE9 E9-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', 100*'FE')
UE10 E10-ERDE=EDGE('PLUS', U: CINV, 'TO', -100*'FE')
```

```
Q0 INV-INV-PL-ERDE=SYNEG
CINV INV-ERDE=1E-6
```

```
Q1 E1-A1-PL-ERDE=SYNEG
C1 A1-ERDE='M'*. 271425
Q2 E2-A2-PL-ERDE=SYNEG
C2 A2-ERDE='M'*. 271425
Q3 E3-A3-PL-ERDE=SYNEG
C3 A3-ERDE='M'*. 271425
Q4 E4-A4-PL-ERDE=SYNEG
C4 A4-ERDE='M'*. 271425
Q5 E5-A5-PL-ERDE=SYNEG
C5 A5-ERDE='M'*. 271425
Q6 E6-A6-PL-ERDE=SYNEG
C6 A6-ERDE='M'*. 271425
Q7 E7-A7-PL-ERDE=SYNEG
C7 A7-ERDE='M'*. 271425
Q8 E8-A8-PL-ERDE=SYNEG
C8 A8-ERDE='M'*. 271425
Q9 E9-A9-PL-ERDE=SYNEG
C9 A9-ERDE='M'*. 271425
Q10 E10-A10-PL-ERDE=SYNEG
C10 A10-ERDE='M'*. 271425
```

AN: S, D



Vergleich statisch und dynamisch gewonnener Gatterkenngrößen

Testgatter: Inverter SYNEG;  $m = 1000$ ;  $C_{ox} = 0,2714$  pF.

1. Ergebnisse der statischen Simulation

Glg. $U_{DD}$	5.2.2.1 $v_o$	5.2.1.1 $U_{Inv}$	5.4.1.1 $I_{No}$	5.4.1.2 $-I_{Po}$	5.2.2.2 $r_{Inv}$
2,5 V	-137,0	1,169 V	0,169 mA	0,163 mA	1,34 M $\Omega$
5 V	-27,7	2,500 V	0,854 mA	0,884 mA	69,0 k $\Omega$
20 V	-4,46	10,75 V	9,742 mA	10,71 mA	3,515k $\Omega$

2. Aus der Statik hergeleitete, dynamische Daten

Glg. $U_{DD}$	$\tau_Q$	5.4.4.4 $\tau_{S-}$	5.5.1.1 $v_{\tau-}$	5.4.233 $-f_{S-}$
2,5 V	363,7 $\mu$ s	2,14 $\mu$ s	170	249 kHz
5 V	18,73 $\mu$ s	795 ns	23,6	629 kHz
20 V	954 ns	258 ns	3,70	1,79 MHz

3. Ergebnisse der dynamischen Simulation

Glg. $U_{DD}$	$\tau_Q$	$\tau_{S-}$	5.5.1.1 $v_{\tau-}$	$-f_{S-}$
2,5 V	352 $\mu$ s	2,00 $\mu$ s	176	0,252 MHz
5 V	18,8 $\mu$ s	0,723 $\mu$ s	26,0	0,651 MHz
20 V	953 ns	0,214 $\mu$ s	4,45	1,875 MHz

Statische und dynamische Daten der Gatter SYNEG und NA6

1. SYNEG:

$v_o = -27,7$ ;  $U_{Inv} = 2,500$  V;  $C_{ox} = 0,2714$  pF;  $r_{Inv} = 69,0$  k $\Omega$ ;  
 $I_{No} = 0,854$  mA;  $I_{Po} = -0,884$  mA;  $U_{DD} = U_{Hub} = 5$  V.

Wert	m = 0	m = 1000
$\tau_Q$	15,4 ns	18,8 $\mu$ s
$\tau_{S-}$	0,97 ns	723 ns
$\tau_{m-}$	0,30 ns	*/.
$f_{S-}$	796 MHz	651 kHz

$v_e = 1060$ ;  $v_a = 38,3$ .

2. NA6:

$v_o = -8,06$ ;  $U_{Inv} = 2,341$  V;  $C_{ox} = 0,2734$  pF;  $r_{Inv} = 25,77$  k $\Omega$ ;  
 $I_{No} = 0,2855$  mA;  $I_{Po} = -0,8247$  mA;  $U_{DD} = U_{Hub} = 5$  V.

Wert	m = 0	m = 1000
$\tau_Q$	15,3 ns	7,04 $\mu$ s
$\tau_{S+}$	2,17 ns	2,03 $\mu$ s
$\tau_{S-}$	7,3 ns	682 ns
$\tau_{m+}$	0,45 ns	*/.
$\tau_{m-}$	3,0 ns	*/.
$f_{S+}$	250 MHz	569 kHz
$f_{S-}$	-108 MHz	-209 kHz

$v_e = 2500$ ;  $v_a = 310$ .

## ANLAGE 7

### Beispiel 1:

Für den Inverter SYNEG,  $U_{DD} = 5V$ ,  $C_{Ox} = 0,2714pF$  wurde durch Simulation ermittelt:

$$\tau_{Q0} = 15,4ns \quad (m=0)$$

$$\tau_{Q1000} = 18800ns \quad (m=1000)$$

$$\tau_{Q\infty} = \frac{18,8\mu s}{1000} = 18,8ns.$$

Daraus folgt n zu

$$n = \frac{15,4ns}{18,8ns} = \underline{\underline{0,819}}$$

Mit  $\tau_{Q\infty} = r_{Inv} C_{Ox}$  folgt

$$r_{Inv} = \frac{\tau_{Q\infty}}{C_{Ox}} = \frac{18,8ns}{0,2714pF} = \underline{\underline{69,27k\Omega}}$$

Die statische Kleinsignal-Simulation liefert  $r_{Inv} = 69,0k\Omega$ .

### Beispiel 2:

Die Simulation des Inverters SYNEG zeigte für  $U_{DD} = 5V$  die Ergebnisse:

$$f_{S0} \quad (m = 0) = 796 \text{ MHz}$$

$$f_{S1000} \quad (m = 1000) = 0,651\text{MHz}.$$

Daraus folgt der Eigenlastfaktor

$$n = \frac{f_{S\infty}}{f_{S0}} \approx \frac{i \cdot f_{Si}}{f_{S0}} = 1000 \frac{0,651\text{MHz}}{796\text{MHz}} = \underline{\underline{0,818}}$$

### Beispiel 3:

Aus der Simulation wurde mit  $U_{Hub} = 5V$  und  $C_{Ox} = 0,2714pF$  für die ausgangsseitig fallende Flanke

$$f_{S1000} = 0,651\text{MHz} \quad (m = 1000)$$

bestimmt. Daraus kann  $I_{No}$  zu

$$I_{No} \approx m C_{Ox} f_S U_{Hub} = 0,883\text{mA}$$

ermittelt werden. Die statische Simulation liefert  $I_{No} = 0,854\text{mA}$ .

Beispiel 4:

Die Simulation des Inverters SYNEG zeigte für die ausgangsseitig fallende Flanke die Ergebnisse:

$$\tau_{m-} = 0,279\text{ns}$$

$$\tau_{S0-} = 0,87\text{ons} \quad (m=0)$$

$$\tau_{S1000} = 723\text{ns} \quad (m=1000).$$

Daraus kann wiederum der Eigenlastfaktor  $n$  zu

$$n = \frac{\tau_{S0-} - \tau_{m-}}{\tau_{S\infty-}} = \frac{i(\tau_{S0-} - \tau_{m-})}{\tau_{Si-}}$$

$$n = 1000 \cdot \frac{(0,87\text{ons} - 0,279\text{ns})}{723\text{ns}} = \underline{\underline{0,817}}$$

bestimmt werden.

Beispiel 5:

Die statische Simulation ergab für den Inverter SYNEG die Werte:

$$I_{No} = 0,854\text{mA}$$

$$r_{Inv} = 69,0\text{k}\Omega$$

$$U_{Inv} = 2,50\text{V} \quad (U_{DD} = 5\text{V})$$

Daraus kann das Verhältnis  $v_{\tau}$  der Verzögerungszeiten von Quasistatik und Sprungantwort

$$v_{\tau-} = \frac{\tau_{Q\infty-}}{\tau_{S\infty-}} = \frac{r_{Inv} I_{No}}{U_{DD} - U_{Inv}} = 23,57$$

bestimmt werden. Die dynamische Simulation ergab für  $m = 1000$ :

$$v_{\tau-} = \frac{\tau_{Q1000-}}{\tau_{S1000-}} = \frac{1880\text{ons}}{723\text{ns}} = 26,0.$$

Beispiel 6:

Das Gatter NA6 (6-fach NAND) besitzt die aus dem dynamischen Transferkennlinienfeld Abb. 6.7-1 ablesbaren Kennwerte

$v_e = 2500$  und  $v_o = -8,06$ . Daraus folgt das Verhältnis  $v_a$  zwischen Quasistatik und Sprungantwort der Ausgangsflanke:

$$v_a = -v_e/v_o = 2500/8,06 = 310,2.$$

Inverterschwelle  $U_{\text{Inv}}$  und Leerlaufverstärkung  $v_o$  als  
Funktion der Betriebsspannung  $U_{\text{DD}}$

(Testgatter: Inverter SYNEG)

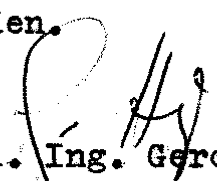
$U_{\text{DD}}$ [V]	$U_{\text{Inv}}$ [V]	$v_o$
1. 5000E+00	8. 1570E-01	-6. 0034E-03
2. 0000E+00	9. 0366E-01	-5. 4364E+02
2. 5000E+00	1. 1691E+00	-1. 3697E+02
3. 0000E+00	1. 4347E+00	-7. 7646E+01
3. 5000E+00	1. 7006E+00	-5. 3873E+01
4. 0000E+00	1. 9667E+00	-4. 1084E+01
4. 5000E+00	2. 2332E+00	-3. 3110E+01
5. 0000E+00	2. 5000E+00	-2. 7669E+01
5. 5000E+00	2. 7673E+00	-2. 3726E+01
6. 0000E+00	3. 0350E+00	-2. 0741E+01
6. 5000E+00	3. 3031E+00	-1. 8405E+01
7. 0000E+00	3. 5718E+00	-1. 6529E+01
7. 5000E+00	3. 8410E+00	-1. 4992E+01
8. 0000E+00	4. 1107E+00	-1. 3709E+01
8. 5000E+00	4. 3809E+00	-1. 2623E+01
9. 0000E+00	4. 6517E+00	-1. 1694E+01
9. 5000E+00	4. 9231E+00	-1. 0889E+01
1. 0000E+01	5. 1950E+00	-1. 0187E+01
1. 0500E+01	5. 4675E+00	-9. 5678E+00
1. 1000E+01	5. 7406E+00	-9. 0191E+00
1. 1500E+01	6. 0142E+00	-8. 5294E+00
1. 2000E+01	6. 2884E+00	-8. 0899E+00
1. 2500E+01	6. 5632E+00	-7. 6935E+00
1. 3000E+01	6. 8386E+00	-7. 3341E+00
1. 3500E+01	7. 1145E+00	-7. 0070E+00
1. 4000E+01	7. 3910E+00	-6. 7081E+00
1. 4500E+01	7. 6681E+00	-6. 4340E+00
1. 5000E+01	7. 9457E+00	-6. 1818E+00
1. 5500E+01	8. 2239E+00	-5. 9490E+00
1. 6000E+01	8. 5026E+00	-5. 7336E+00
1. 6500E+01	8. 7819E+00	-5. 5336E+00
1. 7000E+01	9. 0617E+00	-5. 3476E+00
1. 7500E+01	9. 3420E+00	-5. 1742E+00
1. 8000E+01	9. 6228E+00	-5. 0121E+00
1. 8500E+01	9. 9041E+00	-4. 8604E+00
1. 9000E+01	1. 0186E+01	-4. 7180E+00
1. 9500E+01	1. 0468E+01	-4. 5842E+00
2. 0000E+01	1. 0751E+01	-4. 4582E+00

Immer weigere ich mich,  
irgendwas deswegen für wahr zu  
halten, weil Sachverständige es  
lehren, oder auch, weil alle es  
annehmen. Jede Erkenntnis muß ich  
mir selbst erarbeiten.  
Alles muß ich neu durchdenken,  
von Grund auf, ohne Vorurteile.

Albert Einstein  
(Zitat /M8/, S. 58)

### Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die Dissertationsschrift  
selbständig verfaßt habe, und daß von mir keine anderen als  
die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden.

  
Dipl. Ing. Gerd Heinz  
Berlin, Juli 1986

Heinz, G.

Ansätze zur analytischen Beschreibung der Dynamik digitaler CMOS-Gatter

ХАЙНЦ, Г.

ПОДХОДЫ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ ДИНАМИКИ ЦИФРОВЫХ КМОП-ВЕНТИЛЕЙ

Выводится эмпирическая, замкнутая модель статики КМОП-инвертора. Исследование динамических свойств производится с помощью двух членов ряда тейлора цифрового фронта. Исследуется векторный характер цифровых фронтов и задержек. С помощью ряда тейлора вентили описываются с учётом крутизны входного и выходного фронтов, ёмкостной нагрузки и времени задержки. Результатом является нормированный динамический шар передаточных характеристик фронтов, состоящий из двух характеристик для каждого входа. Динамические параметры выводятся из статических параметров вентиля. Формулируется основной закон динамики вентиля. Негодность линейных моделей устанавливается.

Илл. 70. Лит. 246. Прил. 9.