

Die Huygens-Mission und das Doppler-Problem

(Salvaging the Huygens-Mission
from a Receiver Implementation-Flaw)

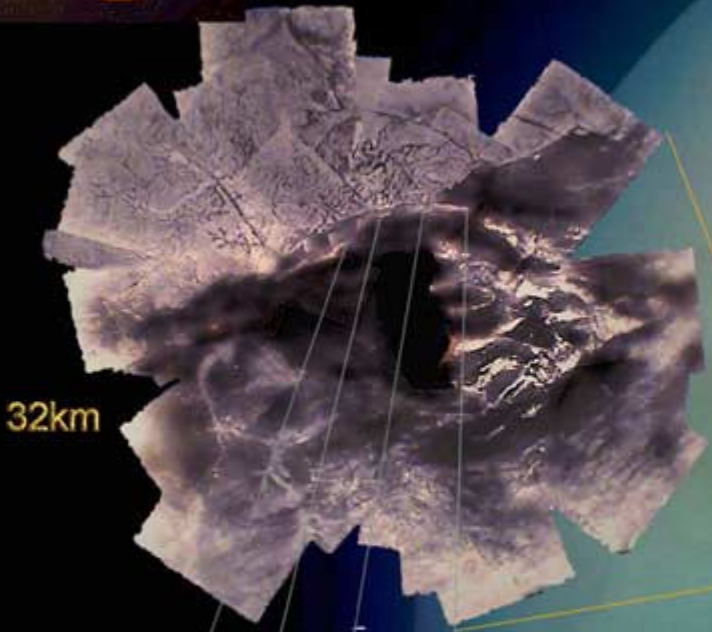
L. Popken
European Space Agency





Titan Huygens Probe 2005

Approximation of Landing Site Mosaics



32km

950km



5150km



240cm

85cm

Europäische Schlamperei

Schadenfreude über peinliche Pannen beim Raumfahren erregt diesmal ausnahmsweise nicht die Nasa – die neueste Lachnummer ist hausgemacht europäisch. Bei der Sonde *Huygens* der Europäischen Raumfahrtagentur hat der Fehler-Teufel mitkonstruiert. Seit drei Jahren ist *Huygens* unterwegs zum Saturn – huckepack auf der US-Sonde *Cassini*. Im Juli 2004 soll *Huygens* von *Cassini* abkoppeln, um auf dem geheimnisumwitterten Saturnmond Titan zu landen. Im Landeanflug soll er Daten über dessen kohlenwasserstoffgesättigte Atmosphäre zur Erde funken. Aufgrund der gewaltigen Entfernung braucht *Huygens* dazu *Cassinis* große Antennenschüssel. Er sendet seine Daten zuerst an die Muttersonde. Der Fehler steckt genau in dieser Funkstrecke: Die Ingenieure haben die Dopplerverschiebung der Funkfrequenz nicht richtig beachtet – ein Effekt, den Physikstudenten im ersten Semester lernen.

Laut Franco Bonaccini von der Esa wurden „notwendige Tests versäumt“. Um Mission und Daten zu retten, sei es „mit bloßem Umprogrammieren des Bordcomputers nicht getan“. Zurzeit befindet sich das 3,4 Milliarden Dollar teure Sondenduo *Cassini/Huygens* beim Jupiter. Dort beobachtet *Cassini* seit dieser Woche simultan mit dem *Hubble*-Weltraumteleskop das Polarleuchten des Gasriesen. Dass der Bericht über den im Februar entdeckten Fehler ausgerechnet jetzt veröffentlicht wird, ist kaum ein Zufall: Die Esa hofft wohl, dass die schönen Bilder vom leuchtenden Jupiter von der Peinlichkeit ablenken.

“Die Zeit”
Dez 2000

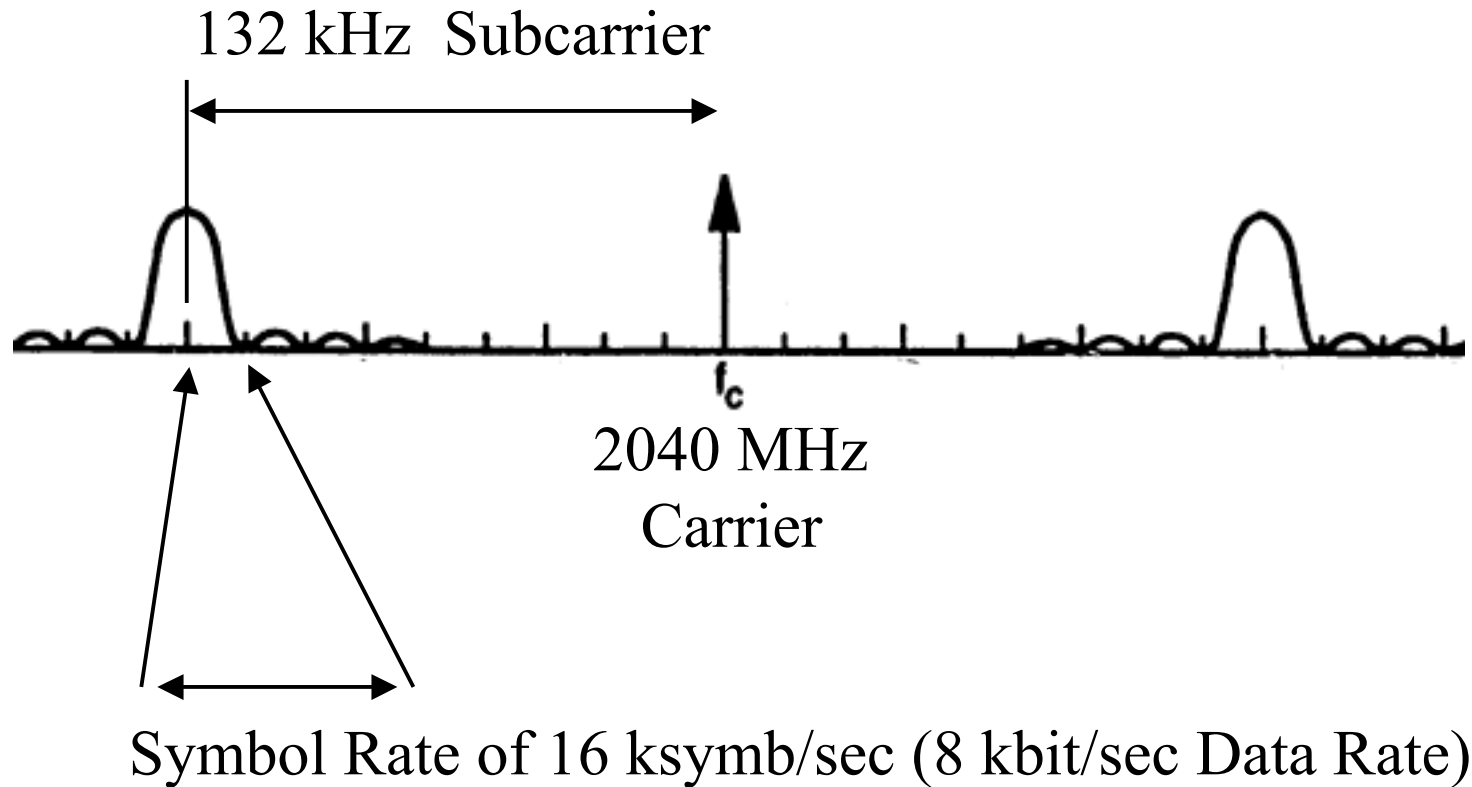
Übersicht

- Seit seiner Entdeckung in 2000 hat das Doppler Problem des Huygens Telemetrie Empfängers
 - viel Aufsehen erregt in den Medien;
 - ungerechtfertigte Schuldzuweisungen sowie falsche Interpretationen verursacht.
- Was war tatsächlich passiert ?
- Und wie wurde das Problem gelöst ?

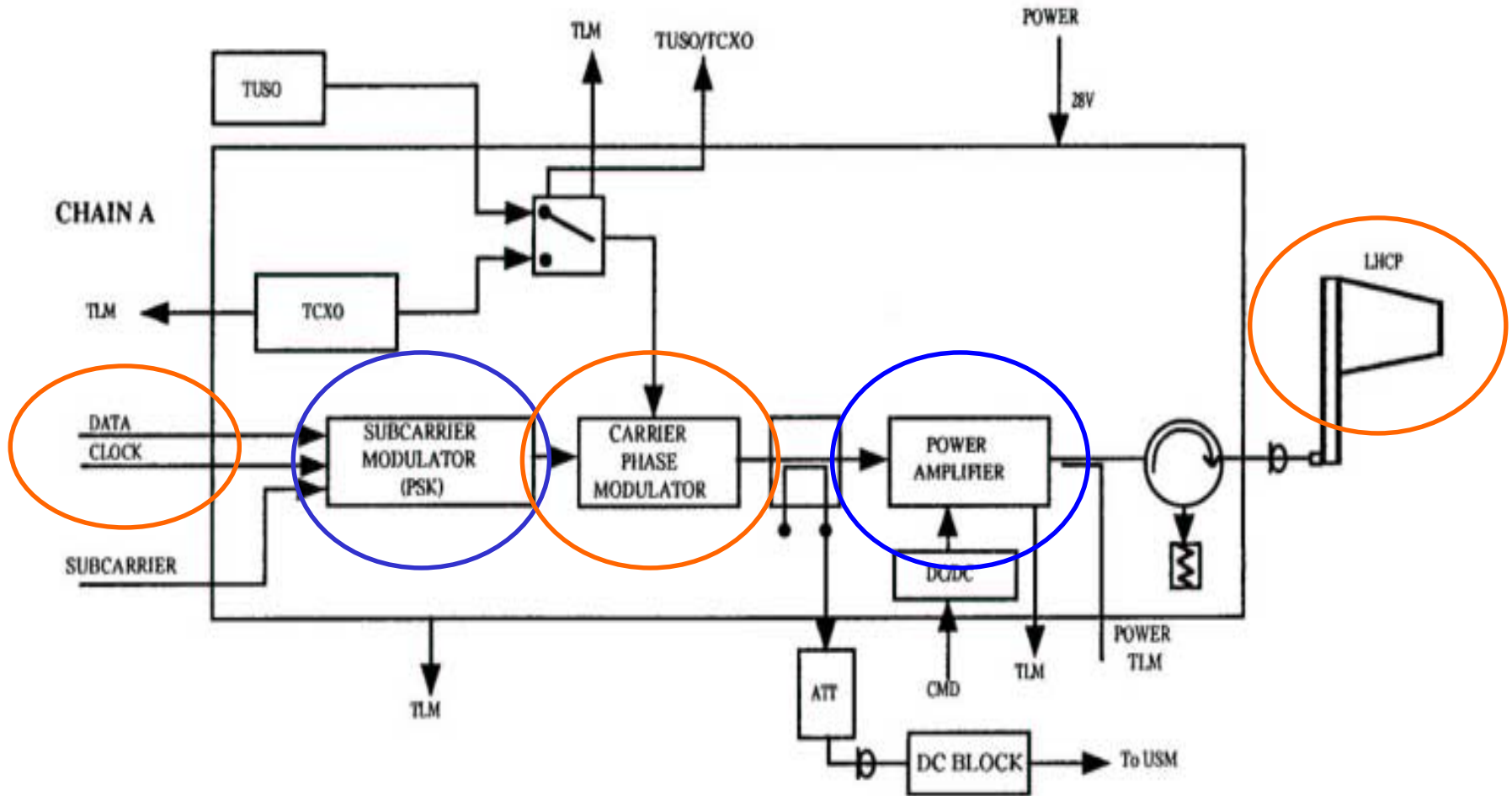
Cassini releases Huygens Probe (25 Dec 2004)



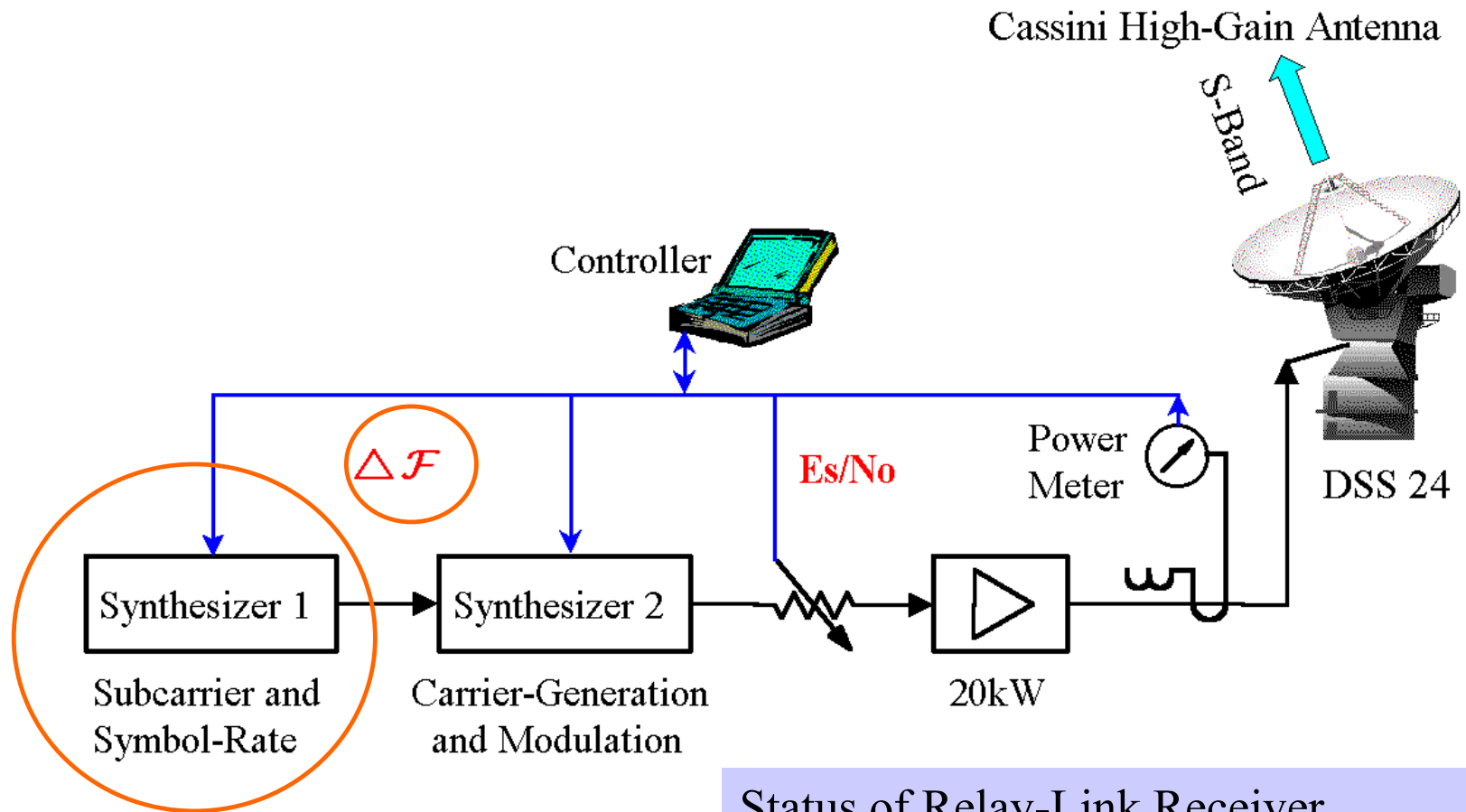
Huygens Signal Spectrum



Transmitter on Huygens Probe

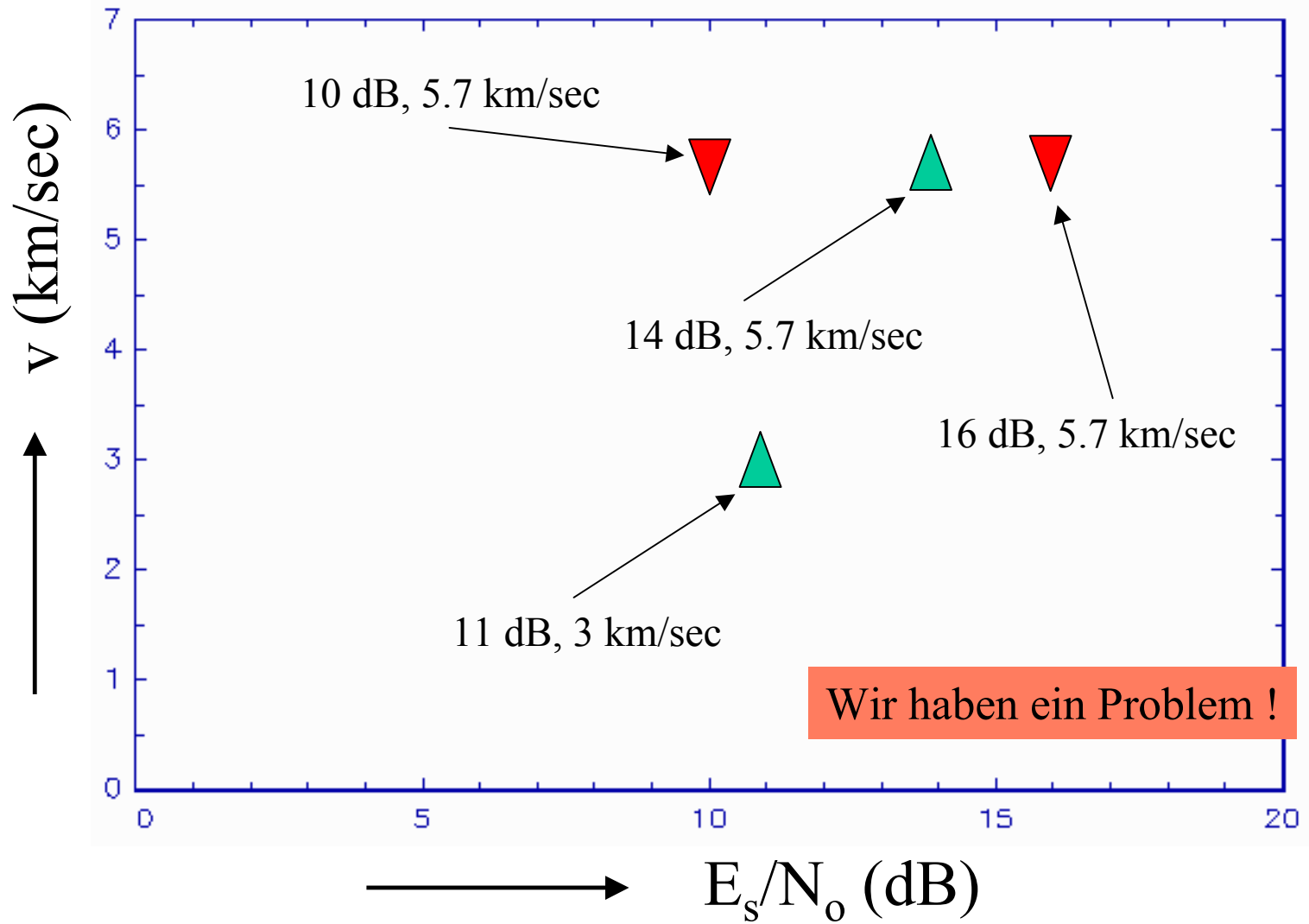


Relay-Link Receiver In-Orbit Test (Feb 2000)



Status of Relay-Link Receiver
monitored via Cassini X-Band Telemetry

Problem Experienced First During In-Orbit Test in 2000



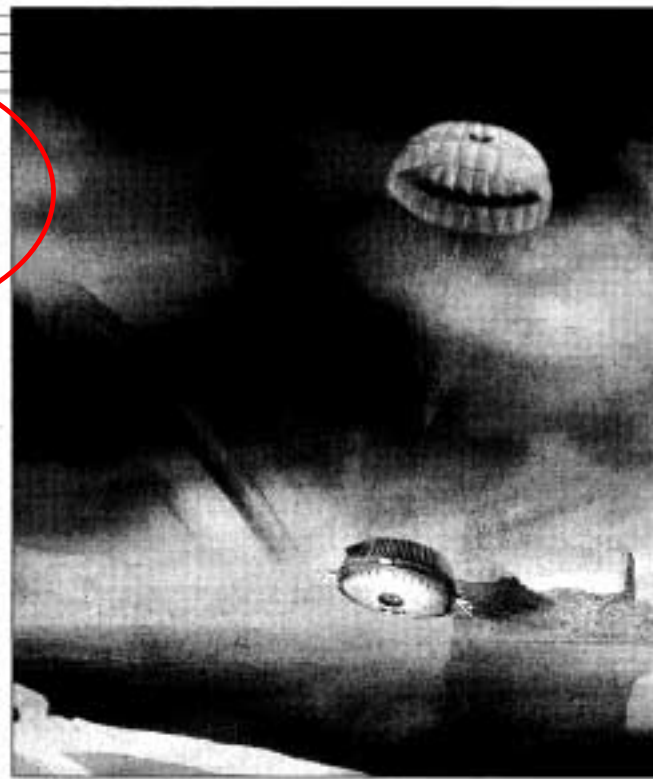
AP Trouw
3nov/00

Doppler-effect hindert ruimtesondes

Medewerkers van het Cassini-Huygens-project zijn druk doende een buitengewoon knullige fout te verhelpen.

De Amerikaanse ruimtesonde Cassini is sinds 1997 op weg naar de planeet Saturnus en zal in november 2004 de meegevoerde Europese capsule Huygens laten neerkomen in de dampkring van de maan Titan. Tijdens de afdaling, die 2,5 uur zal duren, doet de Huygens allerhande metingen aan onder meer de samenstelling van de atmosfeer. Ook op het oppervlak van de maan moet het apparaat zich nog enige tijd handhaven.

Tijdens routinetests is echter gebleken dat de zender en de ontvanger van de Cassini en de Huygens gedurende de afdaling niet goed op elkaar zijn afgesteld. Veel doorgeseinde informatie zou dus verloren gaan. Er blijkt geen rekening te zijn gehouden met het zogeheten doppler-effect: het verschijnsel dat de waargenomen frequentie verandert wanneer de bron zich beweegt ten opzichte van de waarnemer. Bekende voorbeelden zijn een trein en een ambulance, die bij nadering en verwijdering een anders klinkend ge-



Impressie van de ruimtesonde Huygens boven Titan.

AFBEELDING ESA

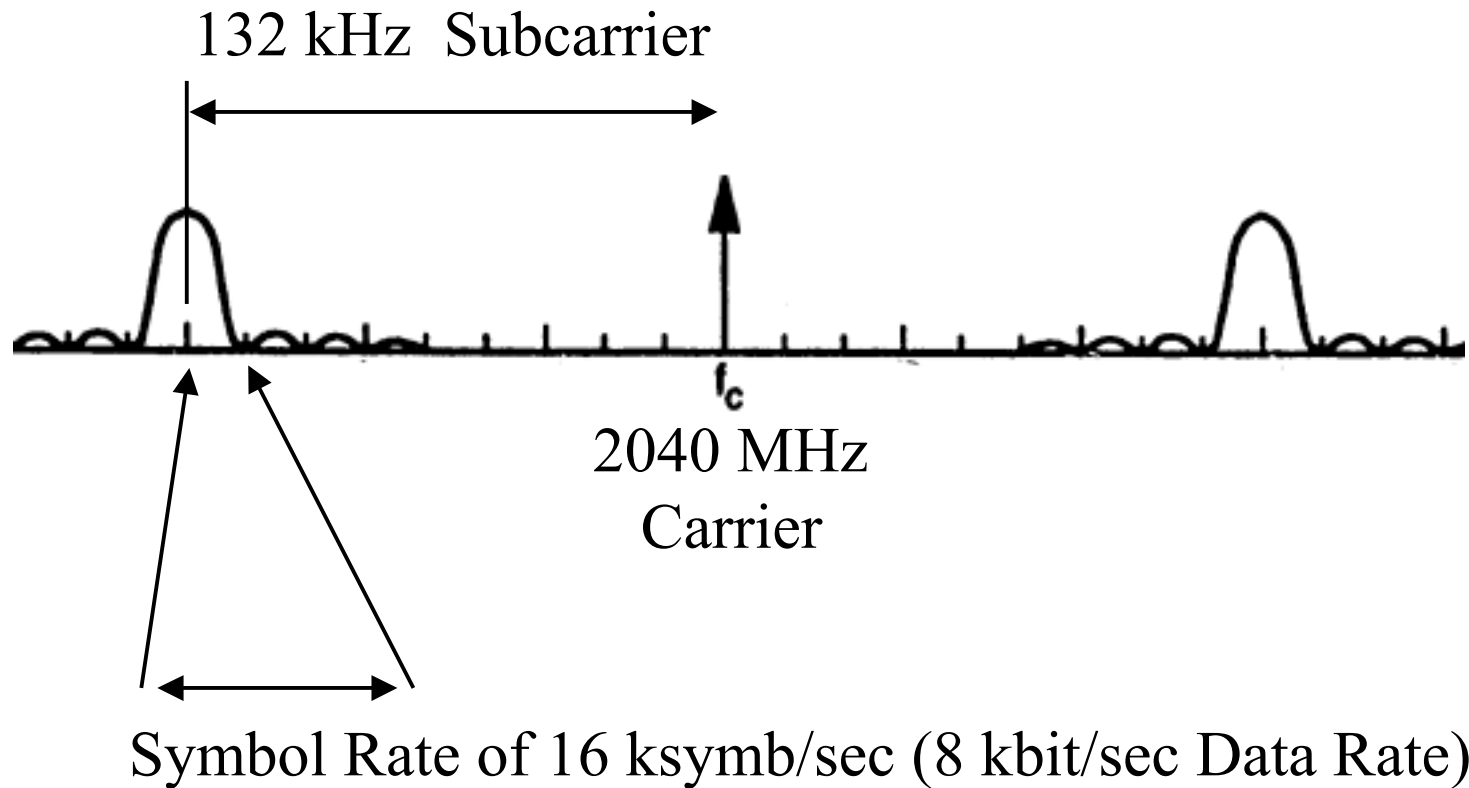
luit produceren. In het geval van Cassini blijkt de ontvanger op het moederschip niet te zijn ingesteld op de gevolgen die de snelheid van de Huygens heeft op de doorgeseinde signalen.

Cassini-Huygens, een van de grootste en duurste ruimtesondes ooit gebouwd, is nu een belangrijk zorgenkind geworden. Op aarde zou reparatie een koud kunstje zijn, maar in dit geval moeten technici hun werk op afstand doen. Een mogelijke oplos-

sing is het verhogen van de afstand waarmee Cassini langs Titan vliegt. Daardoor zou het doppler-effect kunnen worden verminderd en meer informatie kunnen worden opgepikt.

Komende zomer hoopt de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, die de Huygens bouwde, een reddingsplan gereed te hebben. Ook komt er een onderzoek naar de vraag waarom het probleem niet aan het licht kwam tijdens tests voorafgaand aan de lancering.

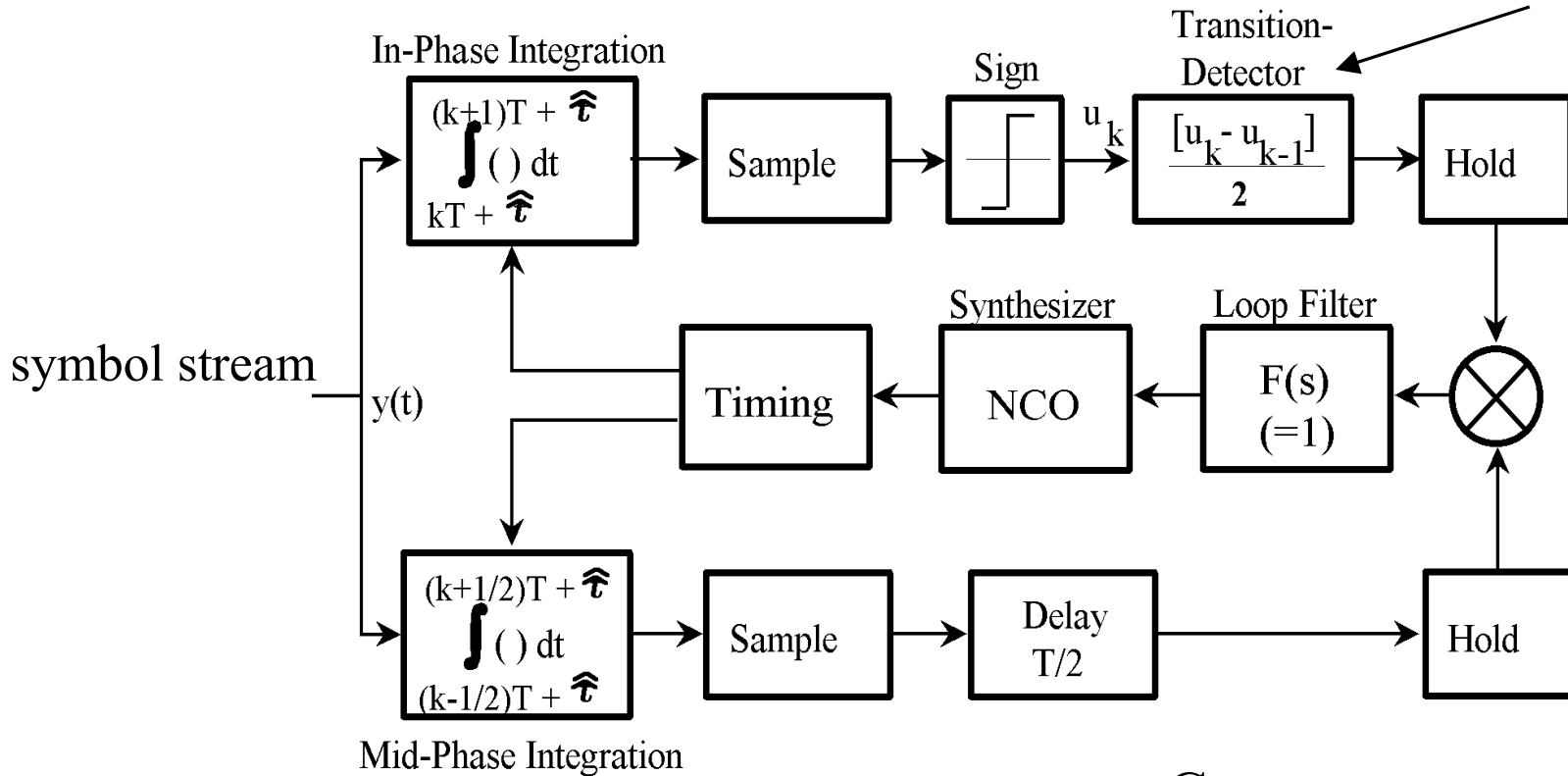
“Trouw”
3 Nov 2000



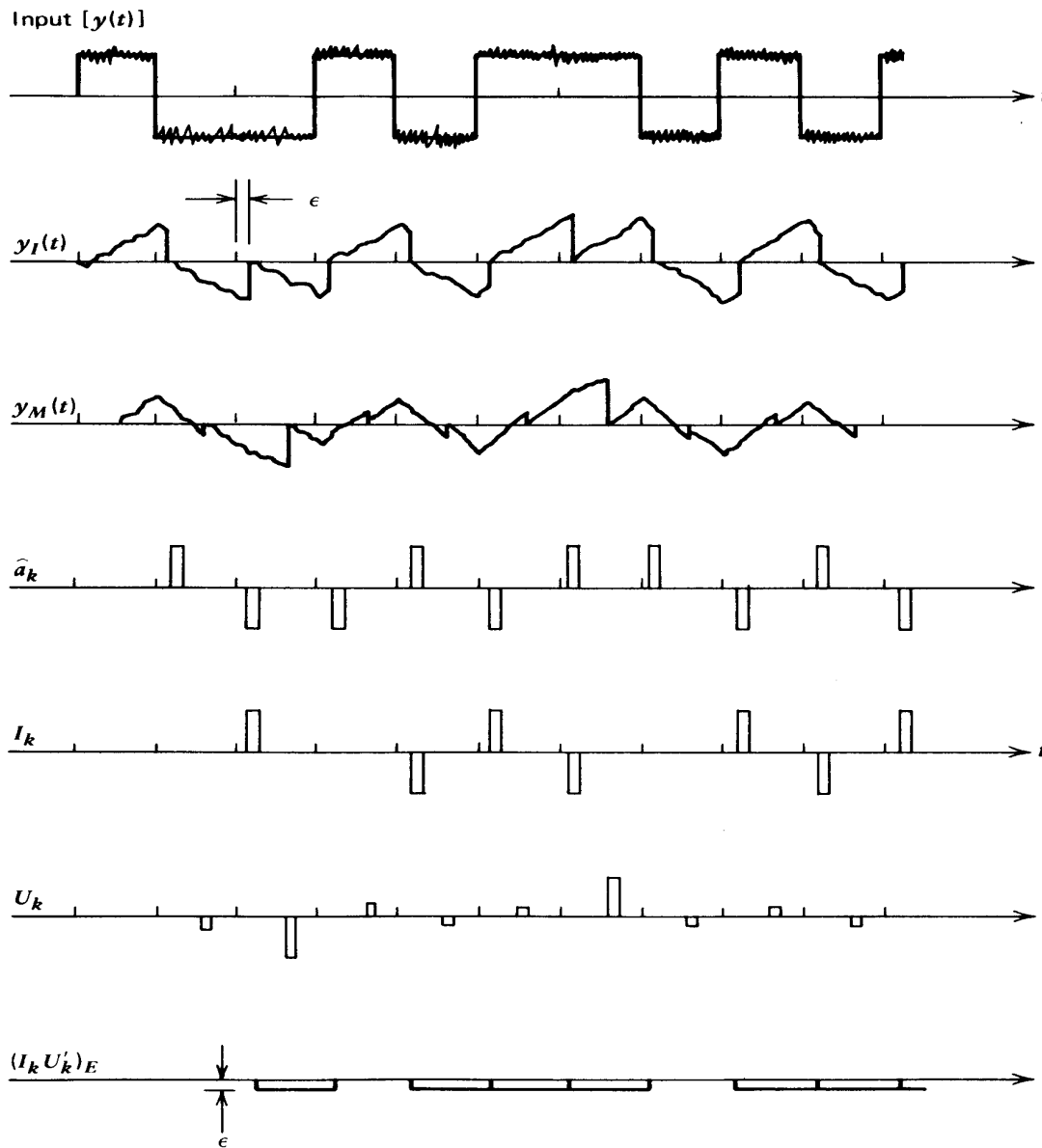
Doppler Effect of $(1+v/c)$ increases Frequencies and stretches Frequency-Bands

Data Transition Tracking Loop (DTTL)

Data-Transition (P_t) dependence



Concept



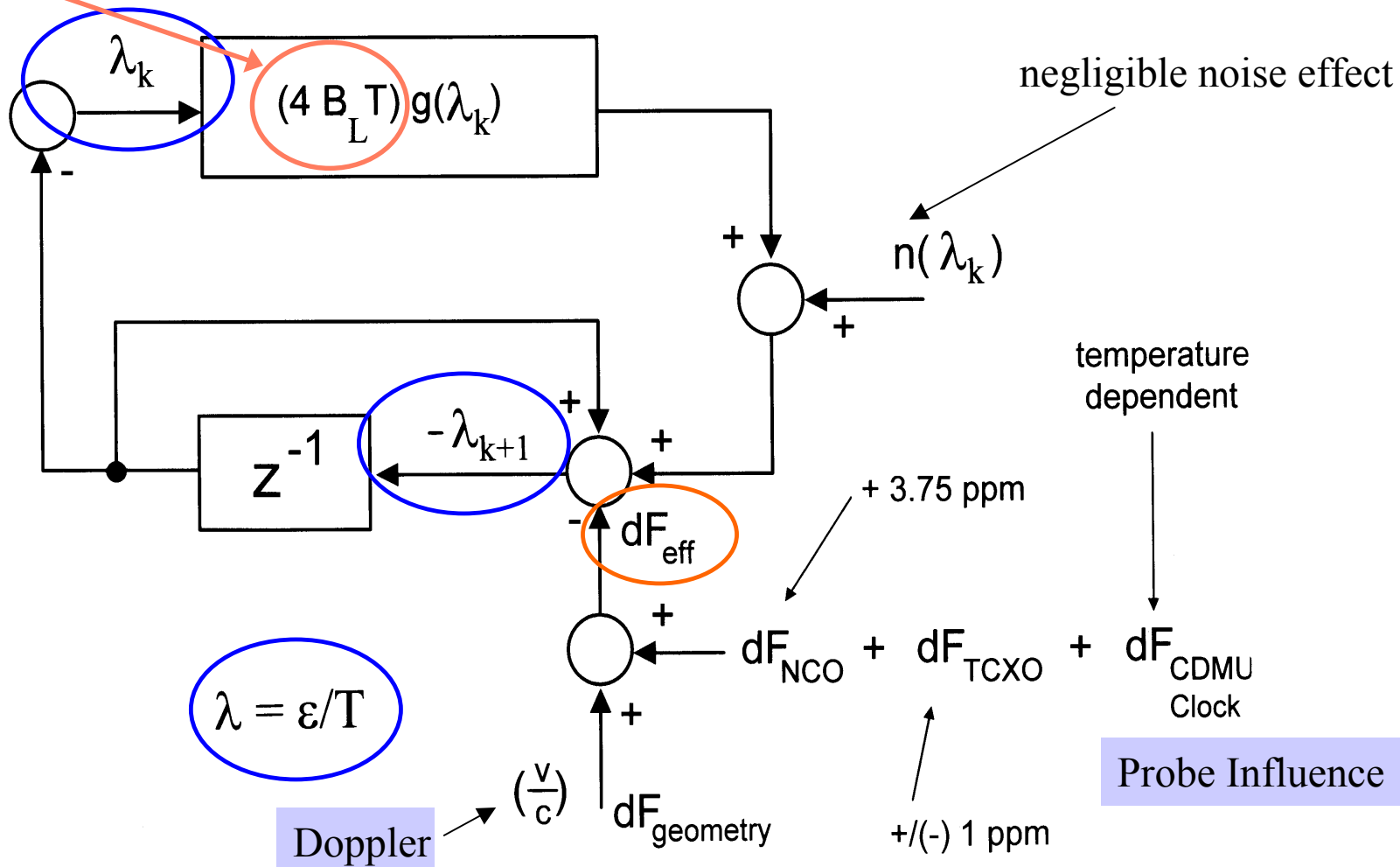
In-phase
Integration

Midphase
Integration

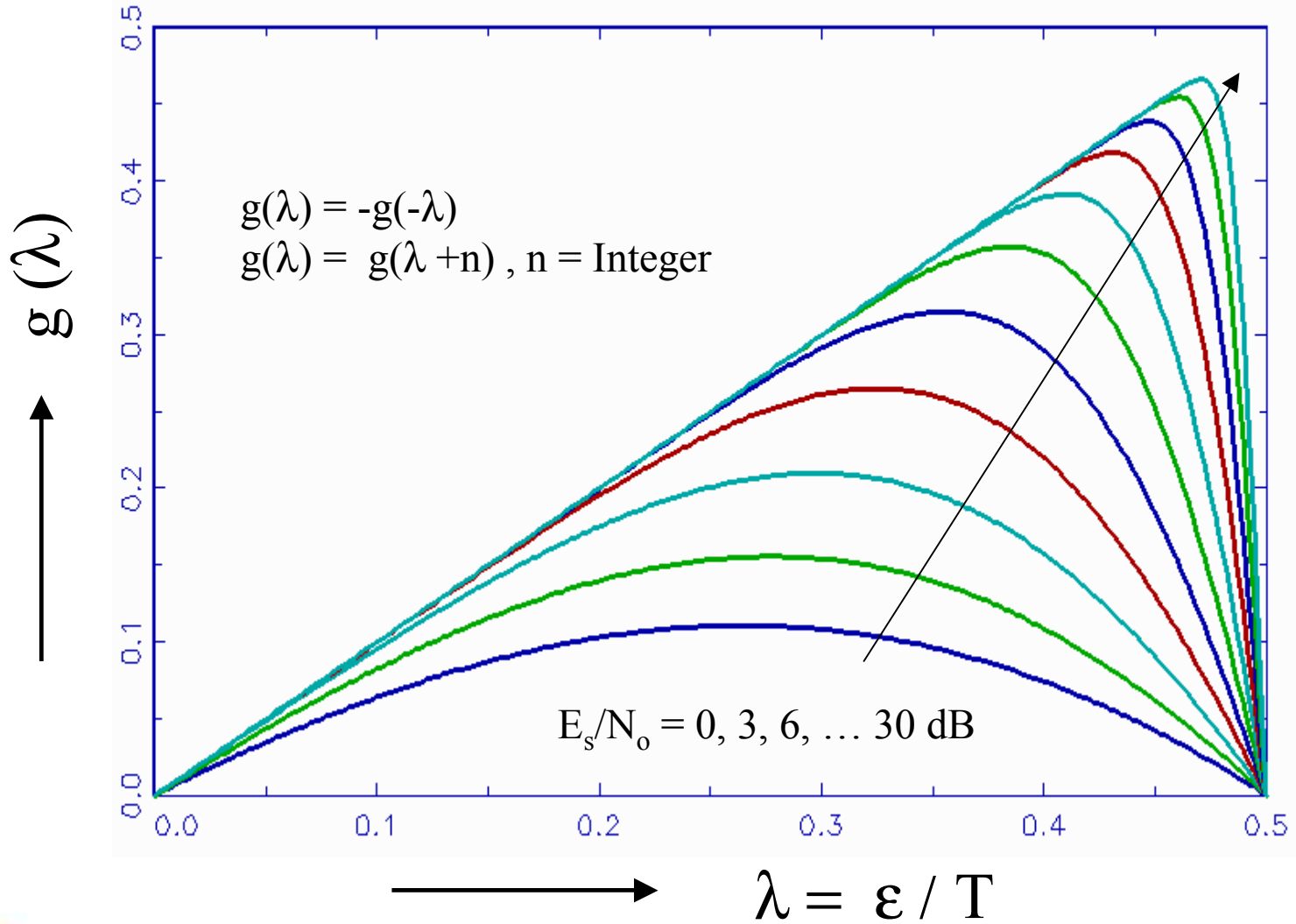
Output only
when Symbol-
Transition

too small

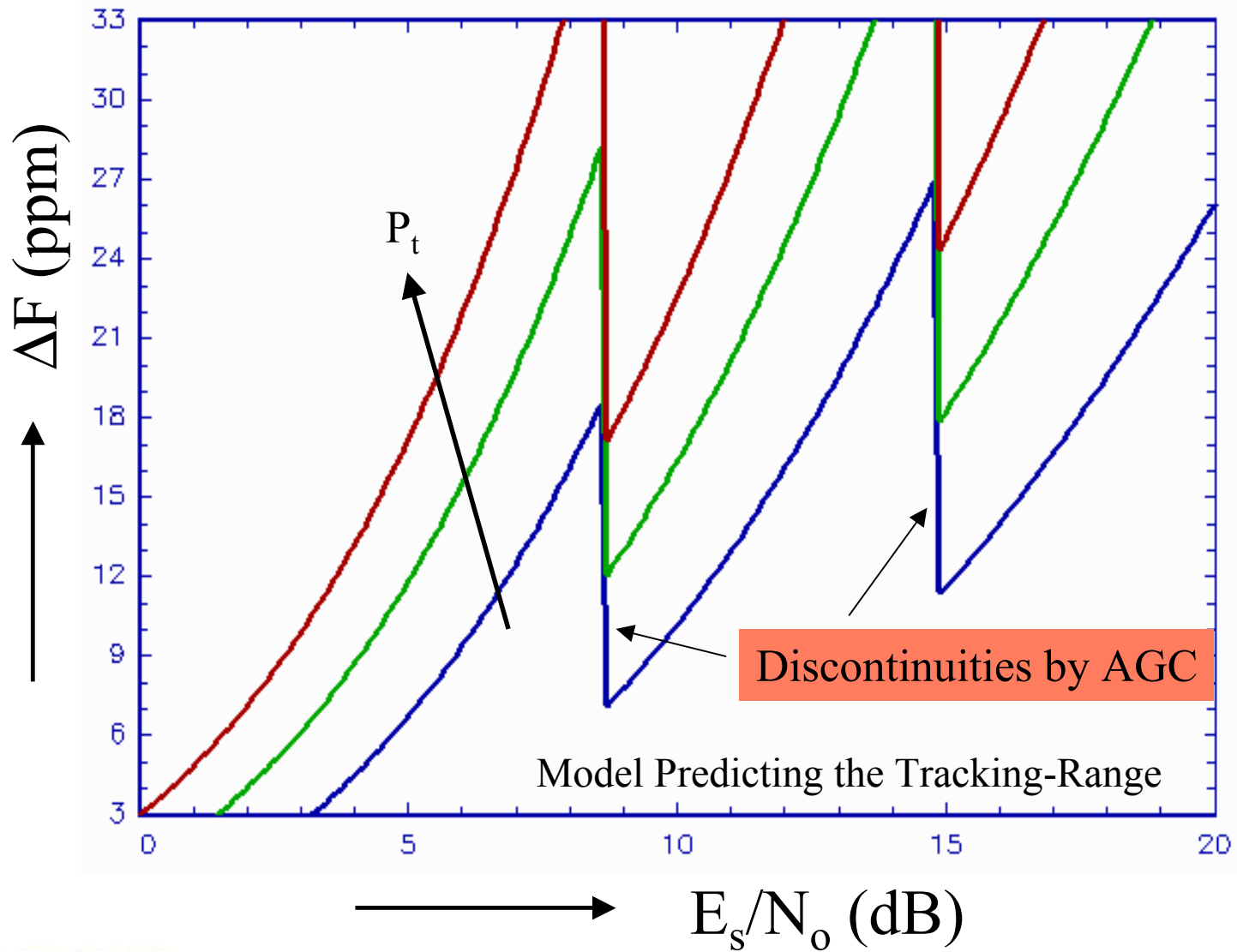
Bit Synchronizer Dynamic Model



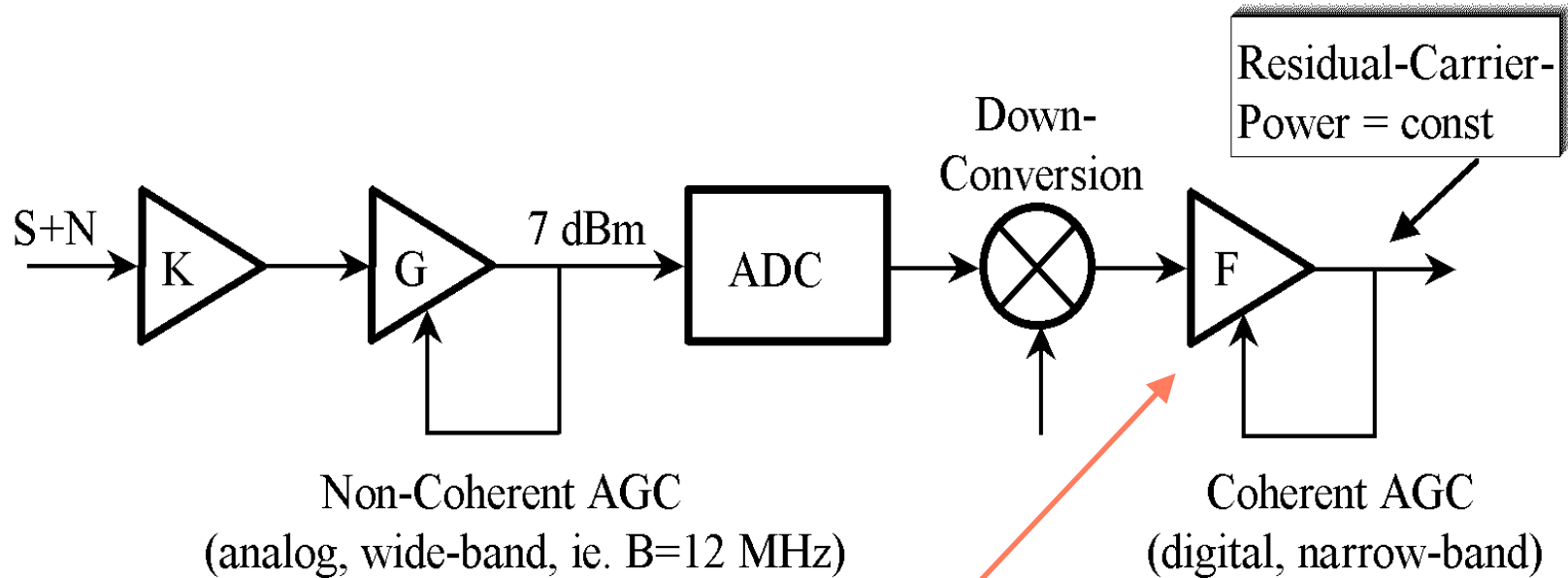
Normalized S-Curve



Transition Density $P_t=50, 70, 90 \%$; Modulation-Index=1.34

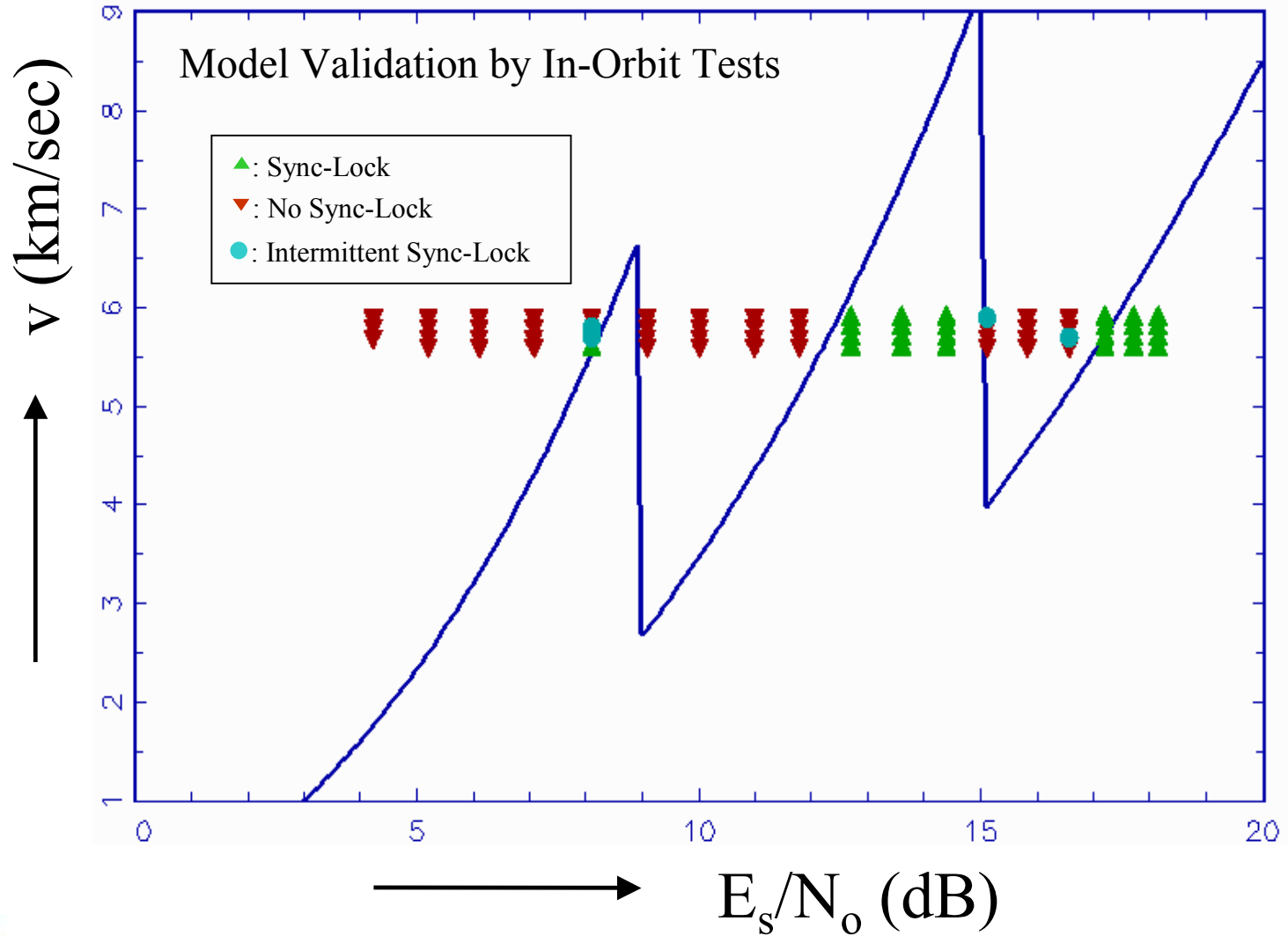


Automatic Gain Controls

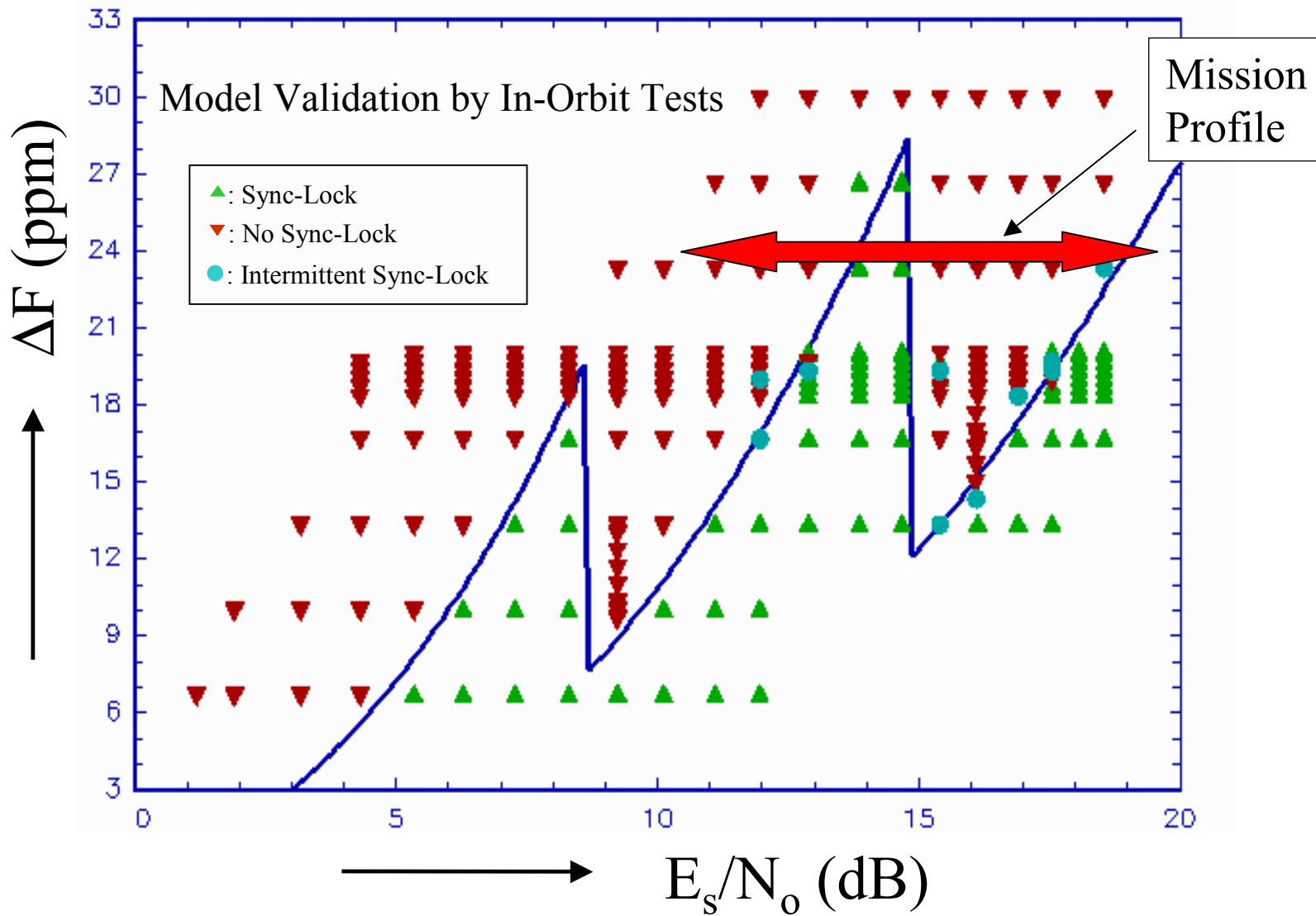


Coherent-AGC Gain affects DTTL Loop-Gain

BF7; USO On; Transition Density: 50.6%; Mod-Index=1.37

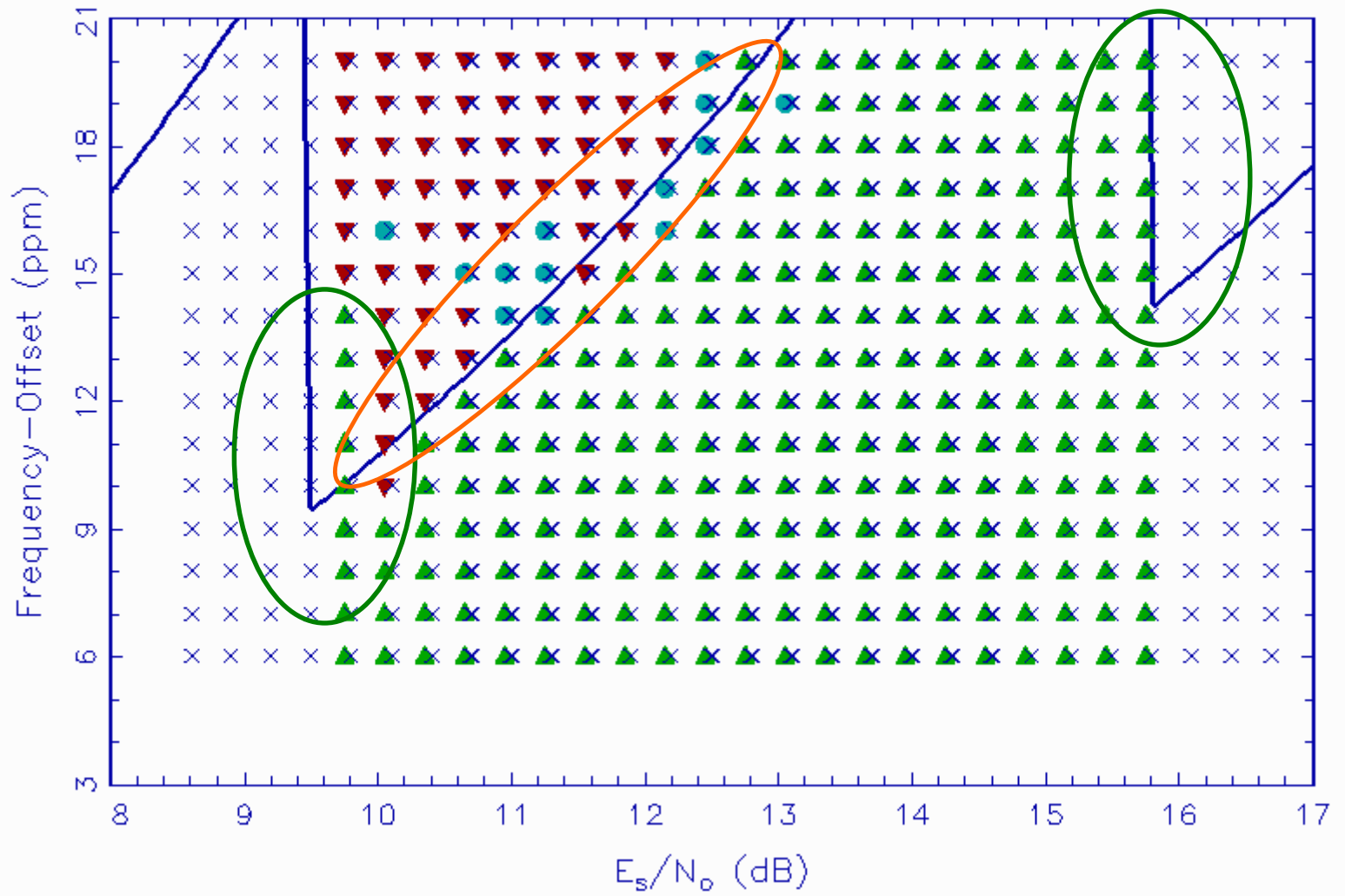


Transition Density $P_t=52.3\%$; Modulation-Index=1.34

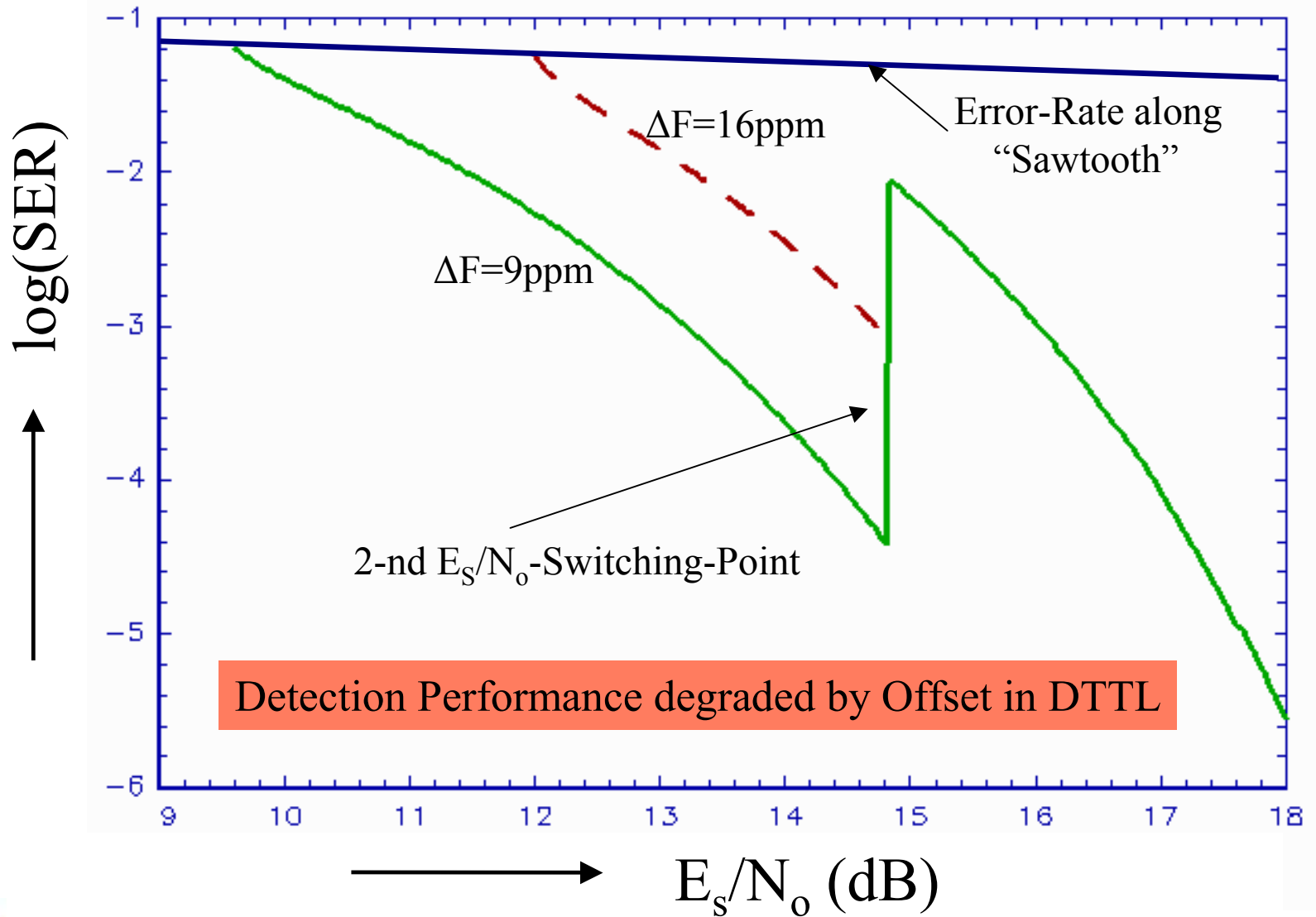


CH-A ; $P_t=52.3\%$; mod=1.352 ; Spin-Test

PRT-4

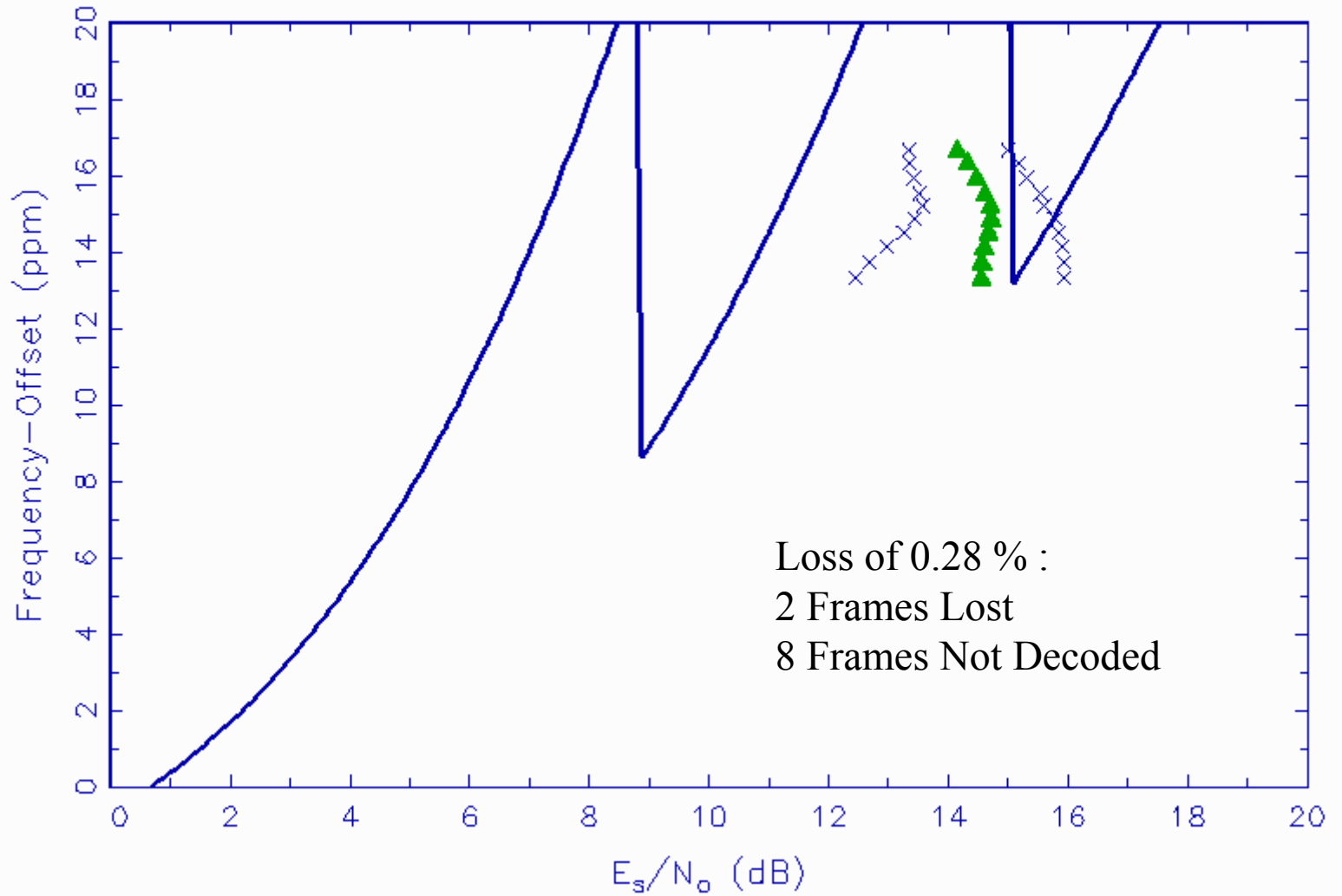


Transition Density $P_t=50\%$; Modulation-Index=1.34

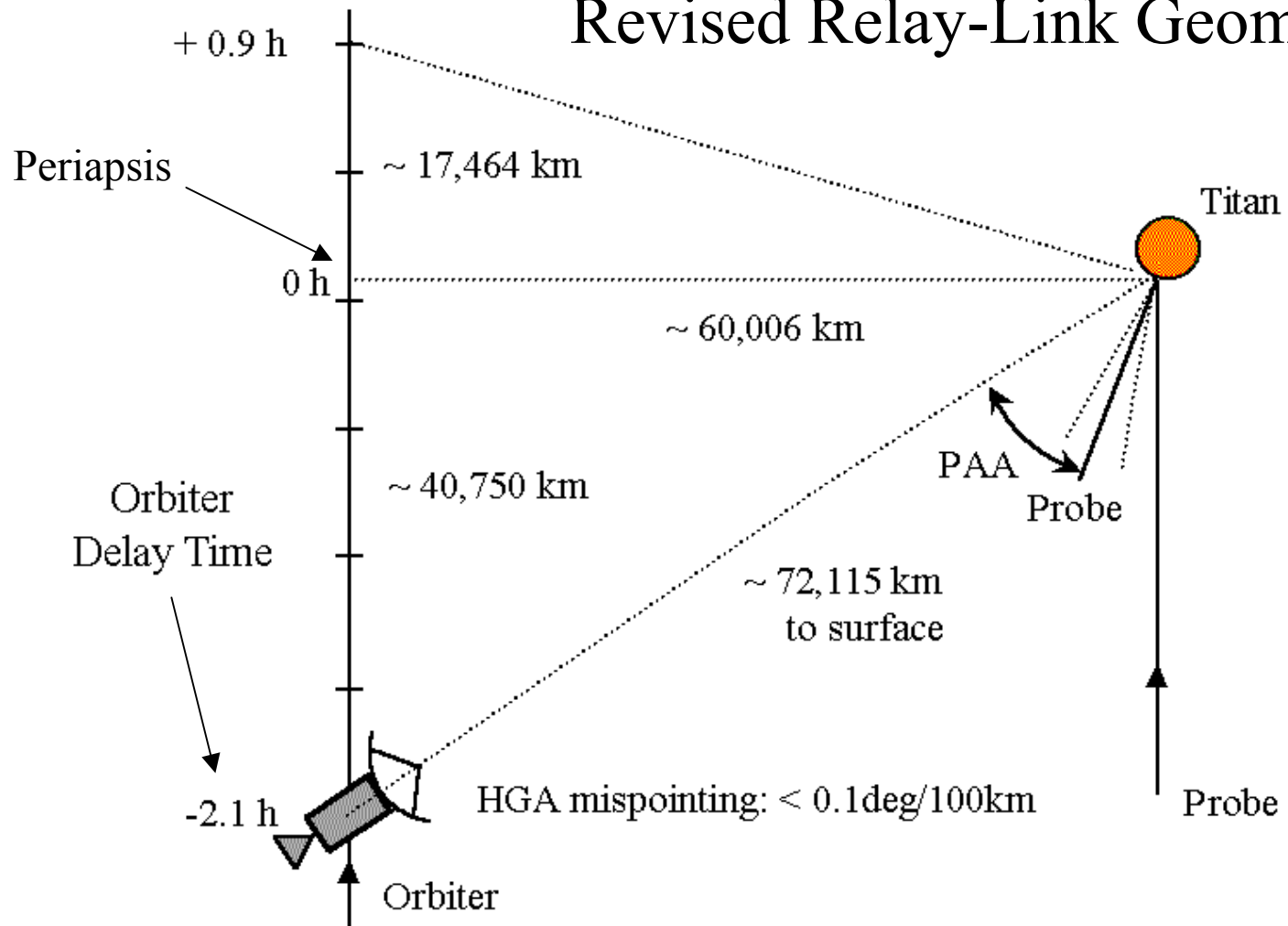


CH-B; $P_t=50.6\%$; mod=1.381; $\Delta= 1\text{dB}/4\text{ppm}$; 1Hr; Day 3

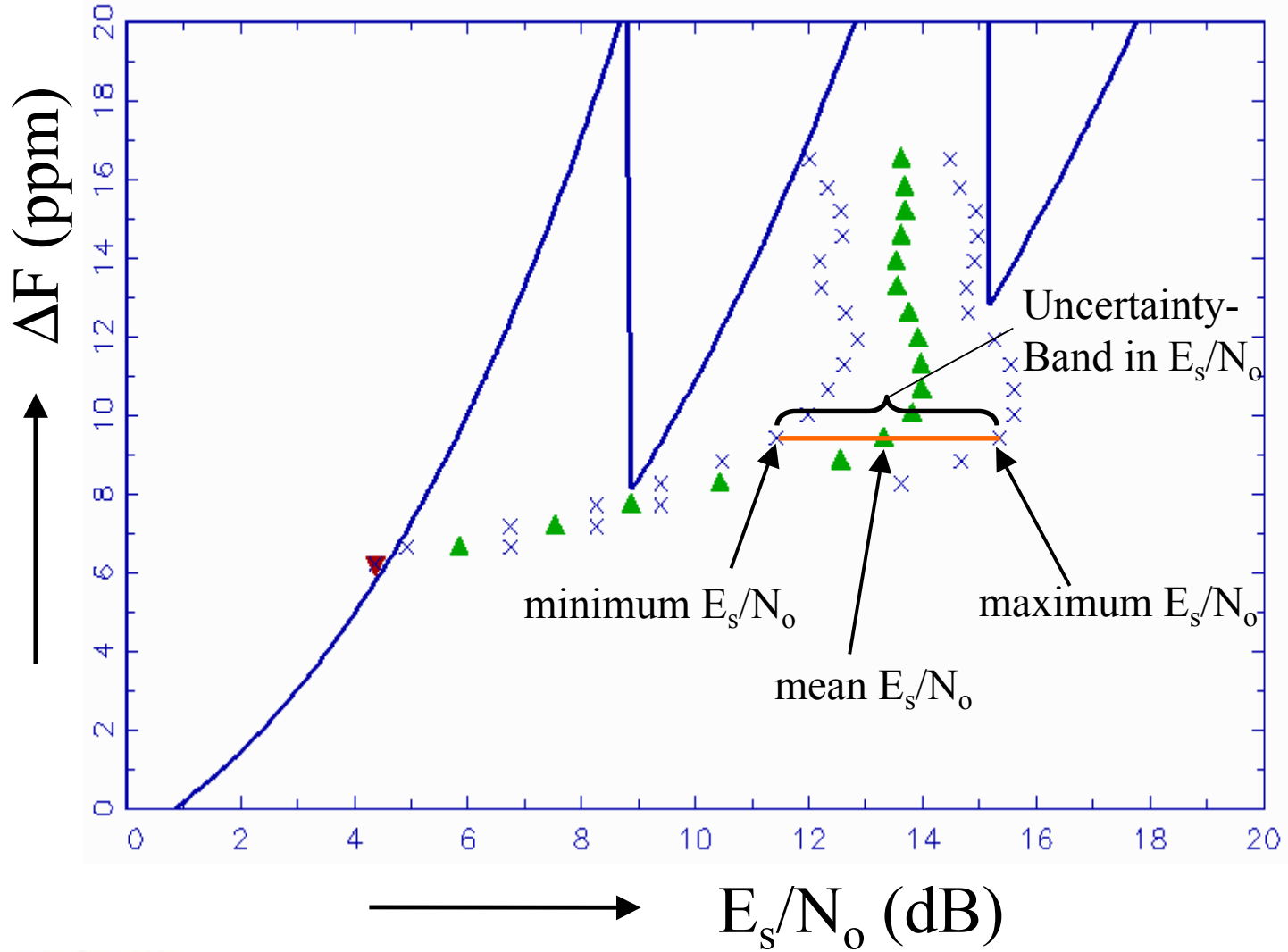
PRT-4



Revised Relay-Link Geometry



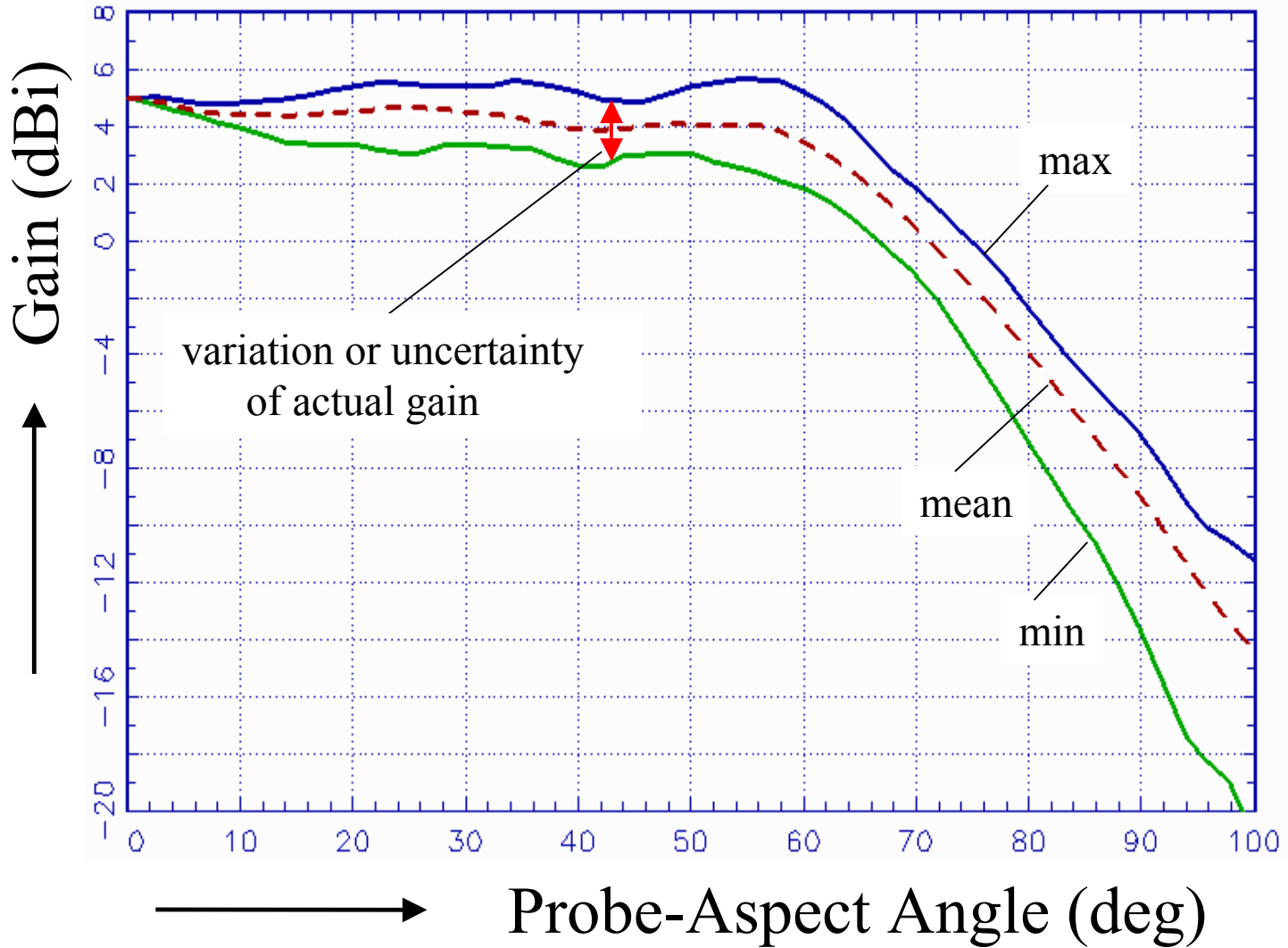
Example Frequency-Offset vs. E_s/N_0 Chart



		A (LHCP)	B (RHCP)	Comment
Probe Tx RF POWER	dBW	10.66	10.83	Reference Case
CIRCUIT LOSSES	dB	0.42	0.35	
Probe ANT GAIN	dBi	3.46	3.63	
Probe EIRP	dBW	13.70	14.11	
FREQUENCY	GHz	2.040	2.098	Reference Distance
DISTANCE	1000*km	60.00	60.00	
SPACE LOSS	dB	194.20	194.45	
Probe ANT AXIAL RATIO	dB	1.62	1.18	Reference Case
HGA AXIAL RATIO	dB	4.20	3.20	
POLARIZATION LOSS	dB	0.19	0.11	
Total PROPAGATION LOSS	dB	194.45	194.60	
Cassini RX ANT GAIN, peak	dBi	35.05	35.30	Reference Case
HGA POINTING LOSS	dB	0.00	0.00	
G/T	dB/K	10.90	10.77	
Es/No REFERENCE	dB	14.11	14.33	

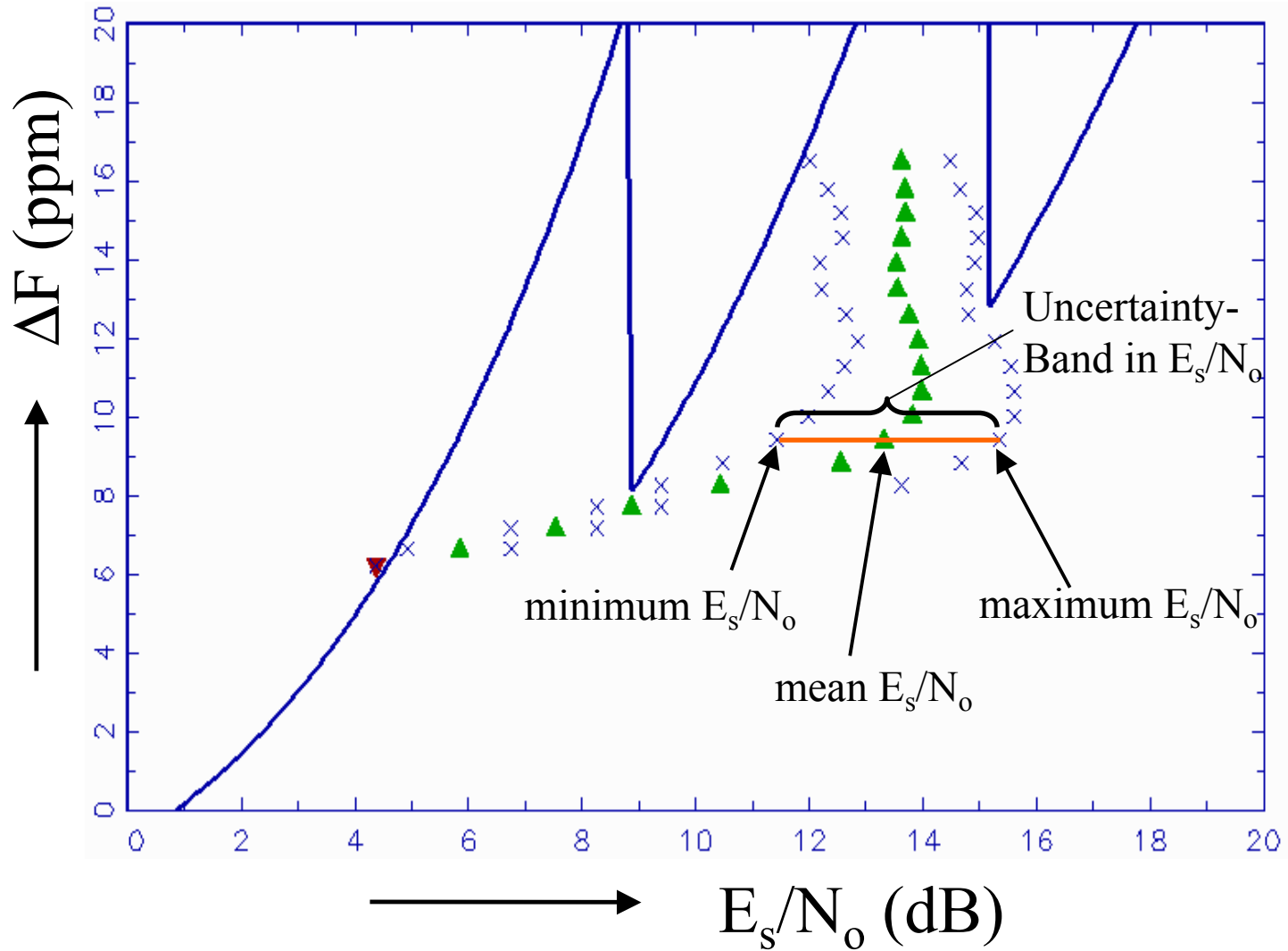
Extract from Reference Link Budget

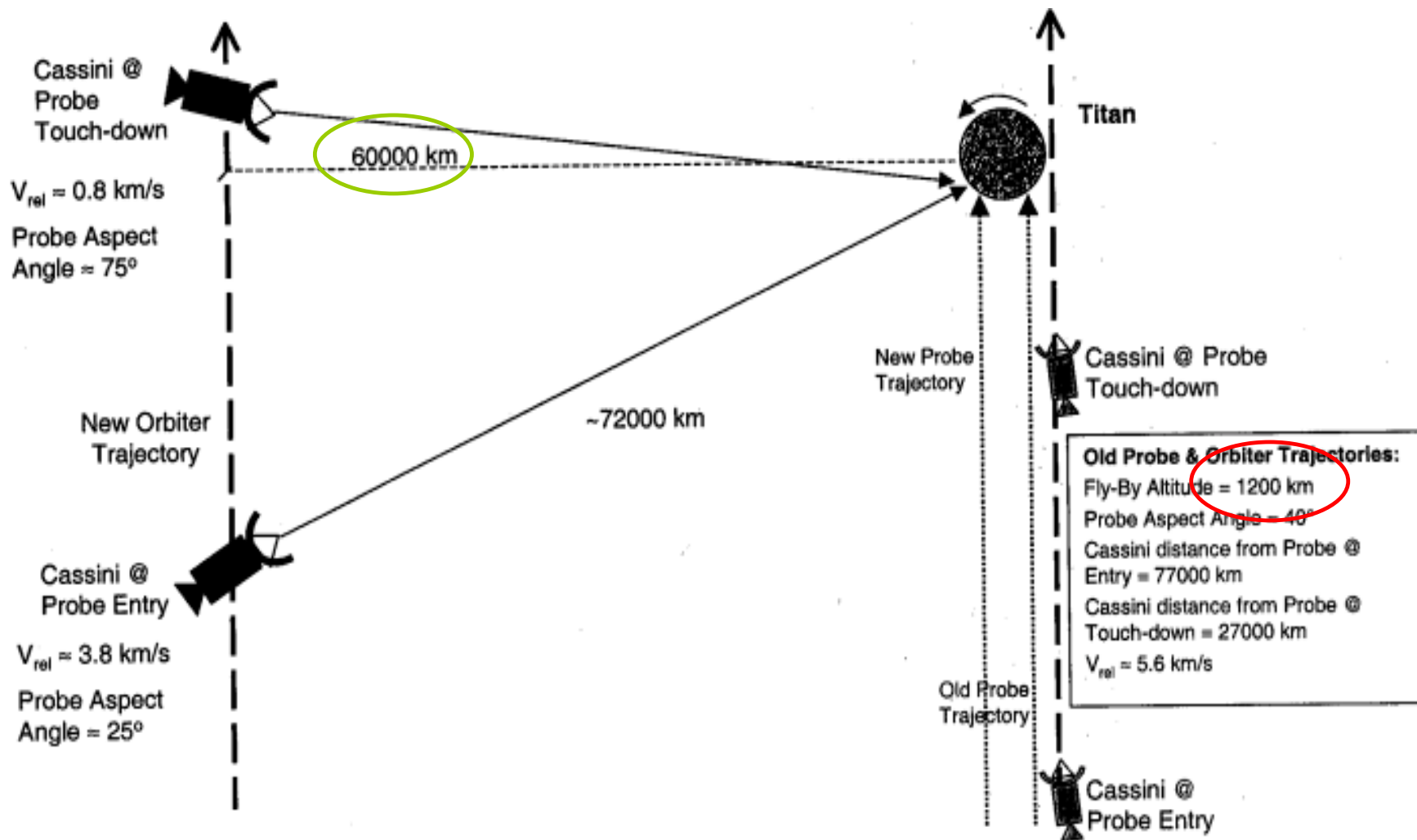
Minimum and Maximum Probe Antenna Gain Pattern (CH-A)

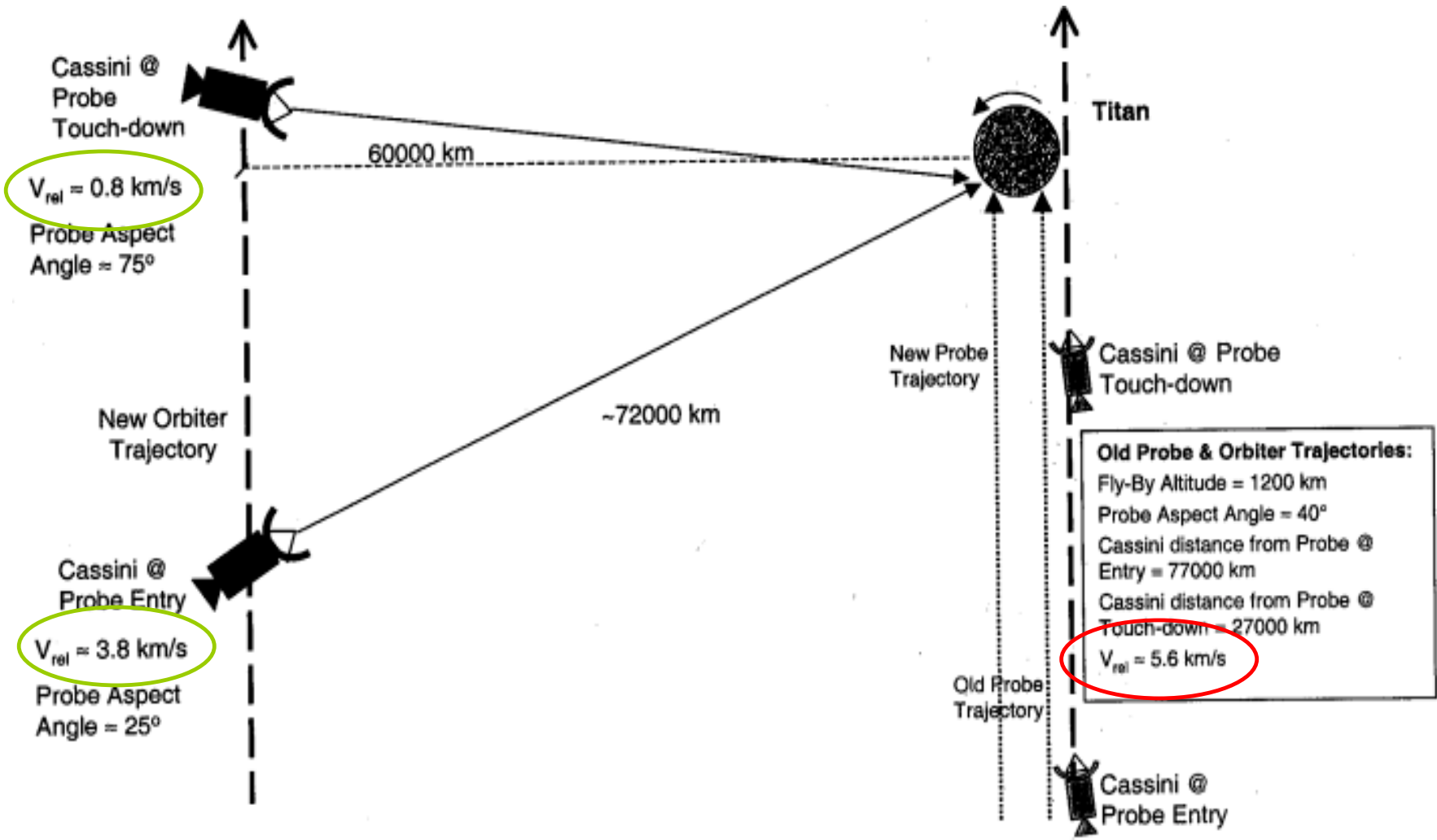


Original Mission Profile

19 ppm (5.7 km/sec) + ΔF



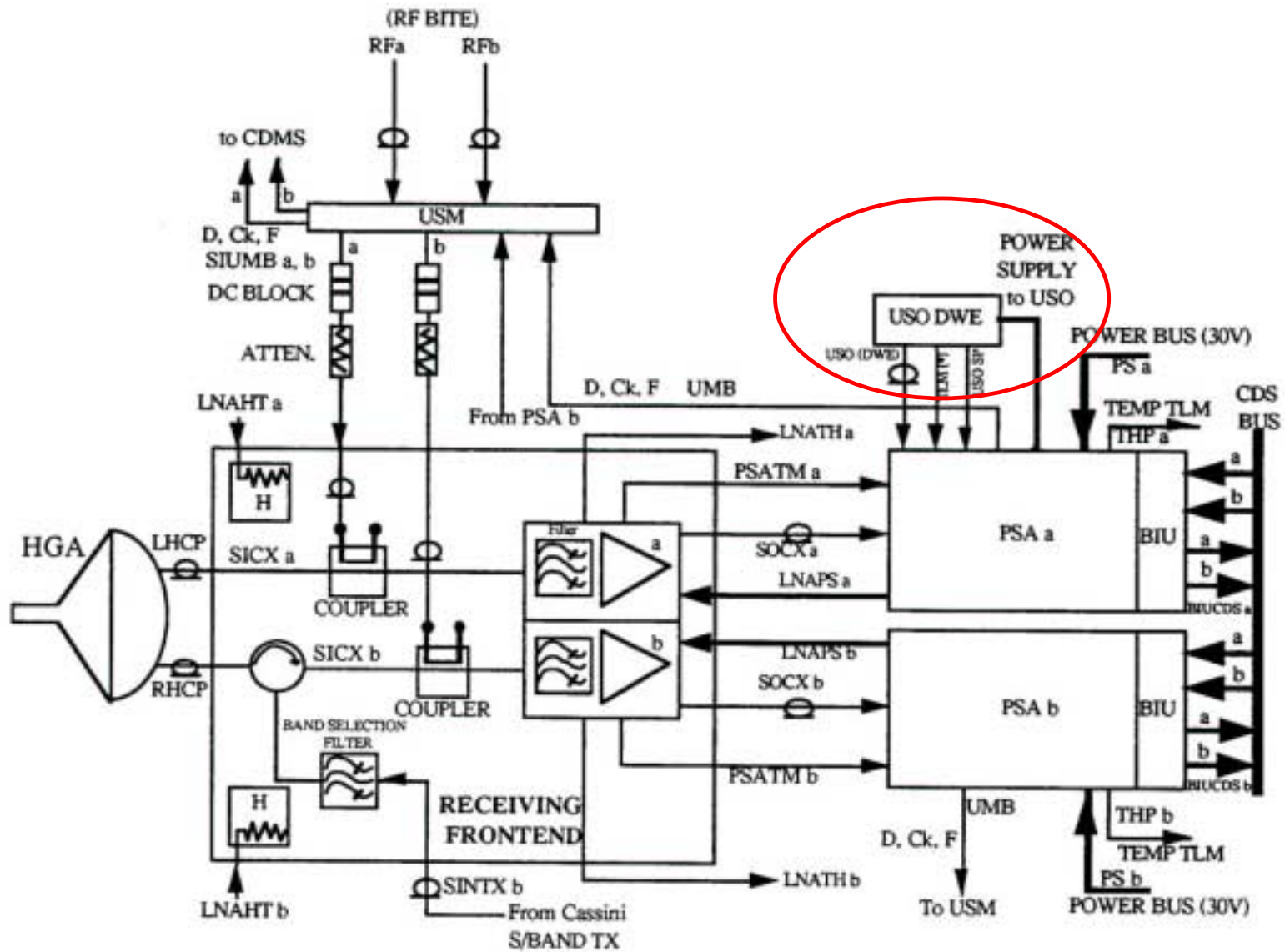




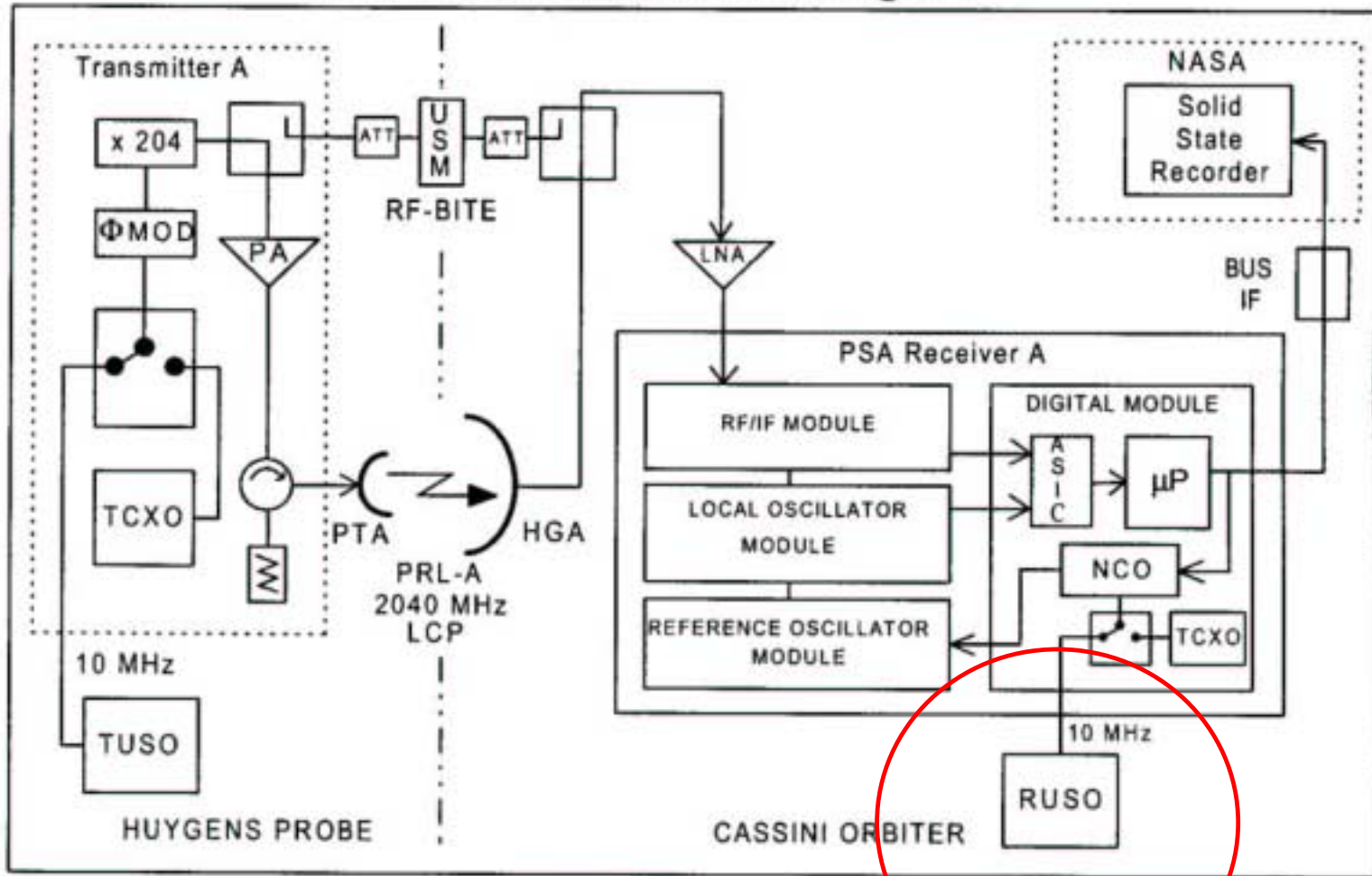
Lessons Learned

- Implement sufficient onboard Reconfigurability for Recovery from Design-Problems or Hardware-Failures:
 - Design for Parameter-Selection or -Modification by Telecommand:
 - Tracking-Loop and Synchronization Parameters, Thresholds.
 - Allow for Algorithm-Adaptation by Software-Patch.
- Transmission of Telemetry Data should never be blocked intentionally.
 - No conditioning on Data-Integrity or Correct Data-Alignment.
 - Sophisticated Data Recovery can be applied on ground.

Warum lieferte Kanal-A keine Daten ?



DWE End-to-End Block Diagram



RUSO was not switched ON

Doc. n° HUY.AS/c.100.OP.0201
Issue: 04 Rev:
Date: 15-01-97
§ 4.2 Page 52

D8

4.2.3 BACK-UP OPERATIONS

- During last checkout, before separation, ground operators must choose between internal oscillators and DWE and must ensure the configuration:

TUSO + RUSO or
TCXO A + TCXO PSE

with following operations:

RP02: RUSO switch ON
RP04: TUSO switch ON
RP03: TUSO/TCXO A selection
RP06: RUSO/TCXO PSE selection

- If one PSA/SASW fails during checkout, for the next checkouts, use only the other one.
- If one TX fails during checkout, for the next checkouts, use only the other one.

Final Remark

- Copies of IEEE Paper available to take home:
 - *“Model of Receiver Design Flaw – Crucial for Huygens Space Mission Recovery,”* IEEE Aerospace and Electronics Conf., March 2004, Big Sky, MT.



Titan Huygens Probe 2005

Approximation of Landing Site Mosaics and perspective location/distances

credits coming soon
levin@space-science.ca

