

Ergebnisse zu Flugzeugelektrik/-elektronik (FEE)

Vorbemerkung:

Bis zum WS19/20 wurden die Übungsaufgaben in einer Präsenzübungsstunde (Ü1) besprochen. Mit der Umstellung auf die neue Prüfungsordnung wurde das Modul Flugführungssysteme und Flugzeugelektronik erweitert um das Fach „Flugzeugsysteme“ und gleichzeitig die Stundenzahl reduziert. Hierdurch fällt die Übung für die Flugzeugelektronik weg. Auf Bitten der Studenten, zumindest für die alten Übungen eine Musterlösung zur Verfügung zu stellen, wurden die folgenden Lösungen durch Herrn Sami Kumpa im Rahmen einer Tätigkeit als studentische Hilfskraft auf Basis seiner Aufzeichnungen aus der ehemaligen Präsenzübung erstellt und von Prof. Schmitz freigegeben.

1. Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen zwei Phasen in einem Dreiphasennetz?

- 120°

2. Wie groß ist die Spannung zwischen zwei Phasen in einem Dreiphasennetz, wenn die Spannung zwischen einer Phase und dem Nullleiter 115V beträgt?

- 200V (beziehungsweise $U_{\Delta} = U_S * \sqrt{3} = 115V * \sqrt{3}$)

3. Benennen Sie mindestens drei verschiedene Arten von Elektromotoren.

- Synchronmotor
- Asynchronmotor
- Gleichstrommotor, weitere Unterteilung möglich (Permanent-/Fremderregt, ...)

4. Wie kann die Drehrichtung bei den vorgenannten Motoren umgekehrt werden?

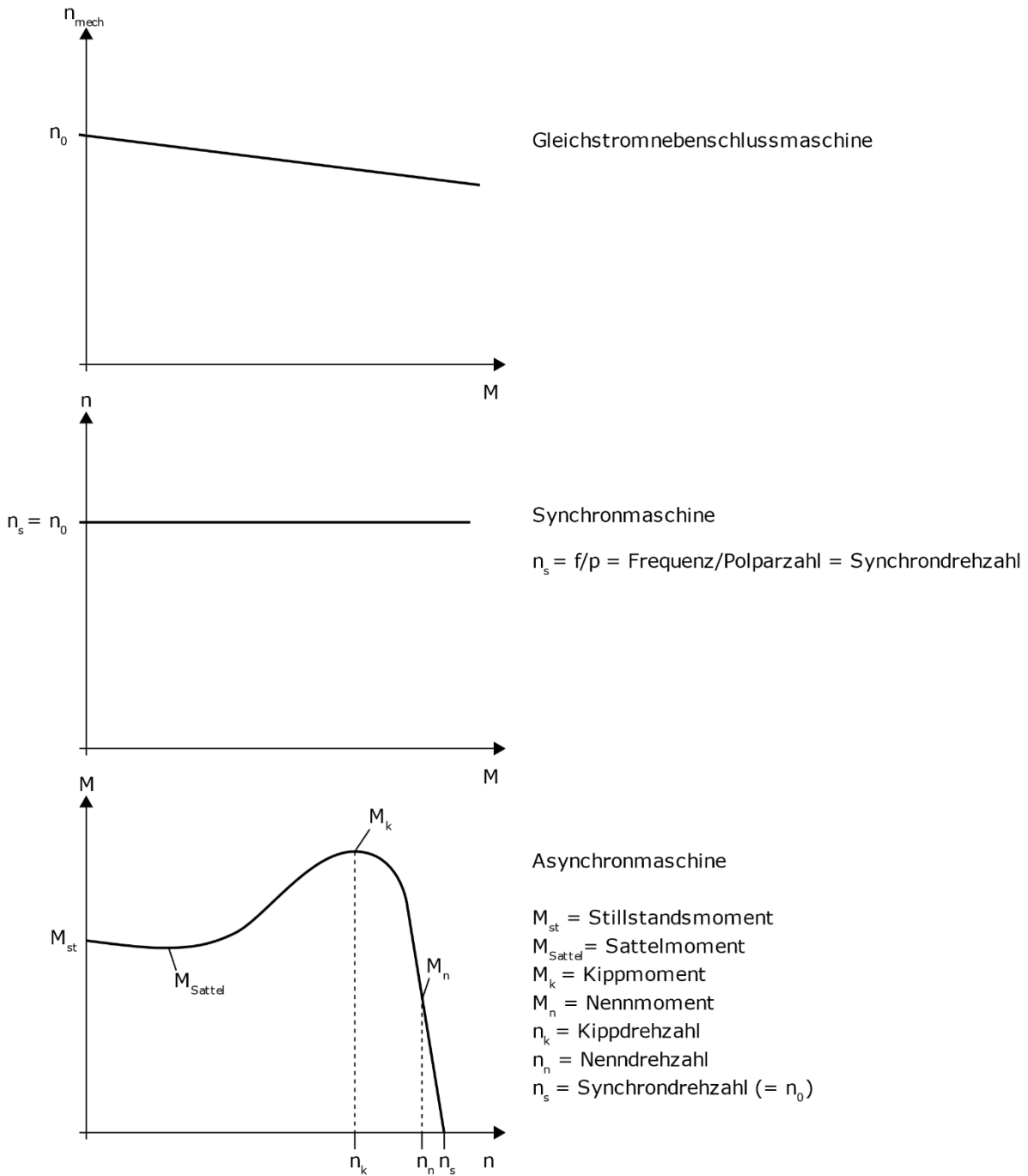
- Gleichstrommaschinen: Rotor- oder Statorwicklung umpolen (nicht beide)
- Dreiphasennetz (Drehstrom): 2 Phasen vertauschen

5. Was bewirkt eine Stern-/Dreieckumschaltung?

- $U * \sqrt{3}$
- $I * \sqrt{3}$
- $P * 3$
- Möglichkeit der Leistungssteuerung

Erläuterung: Aufgrund der Dreiecksschaltung ist die Spannung U um den Faktor $\sqrt{3}$ größer als bei der Sternschaltung. Für die Stromstärke gilt hierbei das Gleiche. Die Leistung setzt sich aus dem Produkt von Spannung und Stromstärke zusammen. Aus diesem Grund ist die Leistung durch die Umschaltung um den Faktor 3 größer.

6. Zeichnen Sie den Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl für Synchronmaschinen, Asynchronmaschinen, und Gleichstromnebenschlussmaschinen.



7. Nennen Sie die Ihnen bekannten Quellen für elektrische Energie im Flugzeug.

- Bodenversorgung
- APU (Auxiliary Power Unit)
- Engine Generator / triebwerksseitige Generatoren
- Ram Air Turbine
- Batterien

8. Welche Spannungen sind an Bord verfügbar?

- 115V
- 200V
- 28V (Batterie)
- ggf. auch 230V (Einsatz beispielsweise in A350)

9. Wie wird die Verfügbarkeit elektrischer Energie für kritische Systeme sichergestellt?

- Redundanz
- getrenntes Netz (Essential Power Distribution)
- Ram Air Turbine
- Batterien

10. Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit ein „Stromlieferant“ zugeschaltet werden kann?

- gleiche Frequenz, gleiche Phase
- gleiche Spannung

11. Was ist der "Point of Regulation"?

- Zusammenführungs-/Rückführungspunkt
- Messpunkt für Regelung der Bordspannung

12. Was ist ein „Variable Speed Constant Frequency Generator“, kurz „VSCF“?

Verfahren: Gleichrichten, Sieben/Glätten, Umrichten DC -> AC

Erläuterung: Für das Bordnetz wird eine konstante Frequenz benötigt. Das Triebwerk liefert jedoch eine unterschiedliche Drehzahl und damit auch eine unterschiedliche Frequenz. Hierbei kann der VSCF, mit dem hier erwähnten Verfahren, diese unterschiedliche Frequenz regeln und die für das Bordnetz benötigten Bedingungen schaffen.

13. Beschreiben Sie mindestens ein Verfahren, um Winkelstellungen an eine Anzeigeeinheit zu übertragen.

- Potentiometer

Erläuterung: Aufgrund der Abhängigkeit der Spannung vom Drehwinkel des Potentiometers, kann dieses als Winkelgeber genutzt werden.

- RVDT (= Rotary Variable Differential Transformer (LVDT für Wegmessung))

Erläuterung: Für eine genaue Beschreibung des Prinzips siehe Frage 20

14. Welche Verfahren zur elektrischen Messung von Temperaturen kennen Sie?

- PT100/1000

Erläuterung: hochgenauer Platinwiderstand. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen Widerstand und Temperatur nach vorhandener Kennlinie. Der Betrag des Koeffizienten/Steigung [Ohm/K] ist je nach Sensortyp unterschiedlich. Die Temperaturkoeffizienten α und β sind diejenigen von Platin.

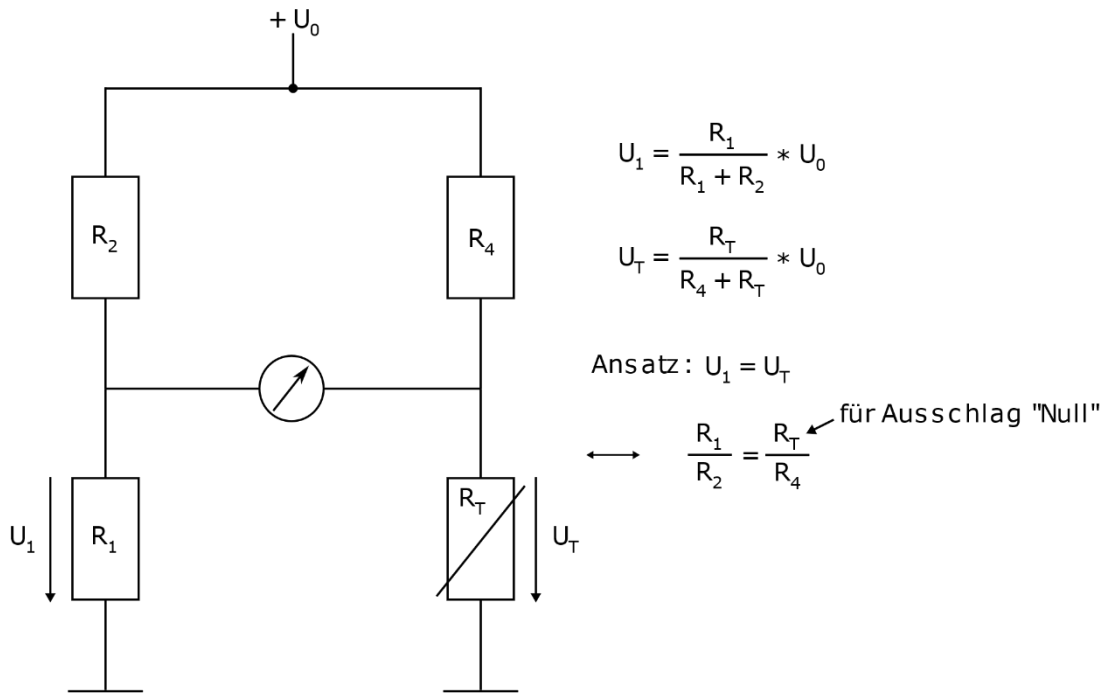
- PTC/NTC-Widerstand

Erläuterung: Gleiches Funktionsprinzip zu PT100/1000 (es handelt sich dabei um einen PTC), PTC (=Positive Temperature Coefficient), es gibt aber auch Widerstände mit NTC-Verhalten (= Negative Temp. Coeff.)

- Thermoelemente

Erläuterung: Funktion nach Seebeck-Effekt. Es entsteht eine messbare Thermospannung bei Nutzen zweier verschiedener Materialien (bspw. NiCr/Ni) aufgrund unterschiedlicher Temperaturen an den Verbindungsstellen der Materialien

15. Zeichnen Sie eine Schaltung zur Fernanzeige von Temperaturen!



16. Was ist bei der Messung mit Hilfe von Thermoelementen zu beachten?

- Temperatur an der Cold Junction (Verbindung der unterschiedlichen Materialien an der nicht zu messenden Stelle) hat Einfluss auf die Messung
- Referenzstelle (Cold Junction) muss eine konstante Temperatur haben (früher auch ausgeführt als Eispunkt) oder die Cold Junction Temperatur muss anderweitig gemessen (z.B. mittels PT100) und berücksichtigt werden

17. Wie werden Vibrationen gemessen? (Beschleunigungssensoren)

- Piezokristall

Erläuterung: Der Sensor funktioniert nach dem Piezoeffekt. Es werden am Sensor eine seismische Masse sowie eine Piezokeramik eingebracht. Bei Vibration entsteht eine Kraft auf die Piezokeramik, die eine elektrische Spannung/Spannungsänderung aufgrund der elastischen Verformung (Kompression) der Keramik zur Folge hat. Der Sensor kann sowohl als Kompressionstyp, basierend auf Scherung oder als Biegebalkentyp ausgeführt sein. Bei allen drei Typen, dient dabei ein piezoelektrischer Werkstoff als Grundlage der Messung.

- induktive Sensoren

Erläuterung: Die Ausführung als Vibrationsgeber ist möglich mithilfe eines Magneten, welcher eingespannt mit zwei Federn sich innerhalb einer Spule bewegen kann. Durch Beschleunigung/Bewegung aufgrund der Vibration, wird damit in der Spule eine messbare Spannung induziert.

- MEMS (= Micro-Electro-Mechanical Systems)

Erläuterung: Zur Messung wird hier eine seismische Masse und deren kapazitive Änderung bei Krafteinfluss genutzt. Um eine große Kapazität zu erzielen ist diese Masse als Kammstruktur ausgebildet, genau wie ihre Gegenelektrode. Bei Vibration beziehungsweise Bewegung, versucht die seismische Masse, welche mit Federn gelagert ist, in Ruhe zu verbleiben. Es entsteht eine Relativbewegung zwischen der mit Federn gelagerten und der fest mit dem Gehäuse verbundenen Struktur, der Gegenelektrode. Dies führt zu der genannten kapazitiven Änderung. Bei den MEMS werden die Kammstrukturen und auch die Federn durch Herausätzen aus dem Halbleitermaterial hergestellt.

Anwendung: Triebwerksüberwachung

18. Wie werden Drehzahlen gemessen?

- induktive Sensoren

Erläuterung: Der Einsatz kann beispielsweise bei Triebwerksschaufeln oder Zahnrädern erfolgen. Der induktive Sensor besteht grundsätzlich aus einem Permanentmagneten in Verbindung mit einem Eisenkern sowie einer Spule. Durch die Bewegung der Schaufeln ändert sich der magnetische Widerstand und es wird eine Spannung induziert. Zur Anzeige der Drehzahl wird dabei die Frequenz genutzt, da mit steigender Drehzahl, die Spannung zunächst ansteigt letztlich aufgrund der Wirbelströme aber wieder sinkt.

- Hallsensor

Erläuterung: Der Sensor funktioniert ähnlich wie der zuvor beschriebene induktive Sensor, arbeitet aber mit dem Halleffekt. Dazu wird senkrecht zu einem stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld durch einen Permanentmagneten erzeugt, was zur Ablenkung der Elektronen führt. Abhängig der Größe und Richtung des Magnetfeldes sowie des Stromflusses, kann hiermit eine unterschiedlich große Hallspannung gemessen werden. Vorteil dieses Messprinzips ist, dass es nicht abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes ist und somit die Ausgangsspannung unabhängig von der Drehzahl ist.

- Wirbelstromprinzip/Tachogenerator (mechanische/elektrische Fernübertragung)

Erläuterung: Die mechanische Übertragung der Drehzahl auf eine Anzeige kann ausgeführt werden mithilfe eines Permanentmagneten um den sich ein koaxialer Eisenzylinder sowie ein Kupfering befinden. Angetrieben durch eine Tachowelle vom Getriebe entsteht ein Wirbelstrom, der den Kupfering bewegen würde. Dieser Bewegung wird durch eine Federkraft entgegengewirkt und die Auslenkung kann mithilfe eines Zeigers auf einer Skala wiedergegeben werden. Bei der elektrischen Variante kann mithilfe eines permanenterregten Gleichstrommotors, aufgrund der direkt zur Drehzahl proportionalen Spannung, der Wert direkt zur Anzeige gebracht werden.

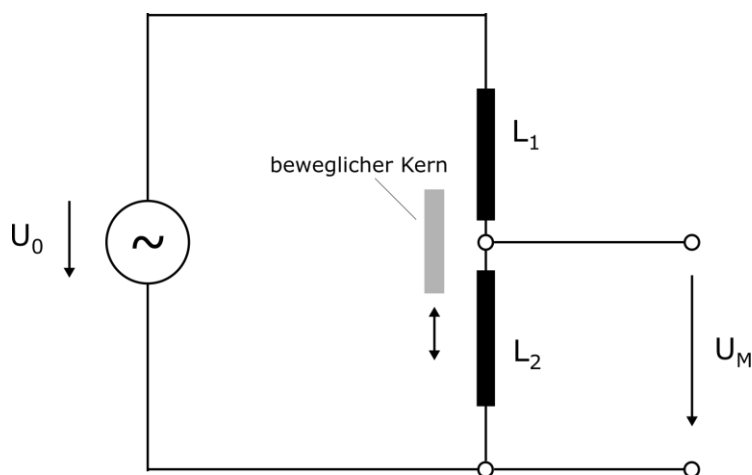
19. Wie werden Wege gemessen?

- Potentiometer

Erläuterung: Aufgrund der Abhängigkeit der Spannung vom Drehwinkel des Potentiometers, kann dieses als Winkelgeber und zur Wegmessung genutzt werden.

- Spannungsteiler (2 Spulen)

Erläuterung: Die 2 Spulen werden an eine Wechselstromquelle angeschlossen. Mit Hilfe eines beweglichen ferromagnetischen Kerns ändert sich je nach Position die Induktivität und damit auch der Wechselstromwiderstand. Dies zeigt sich in einem Spannungsabfall, welcher als Maß für den Weg genommen werden kann.



$$X_L = \omega * L \quad z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

für $X_L \gg R$ gilt $z \approx X_L$

$$U_M = U_0 * \frac{z_2}{z_1 + z_2} \approx U_0 * \frac{X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = U_0 * \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

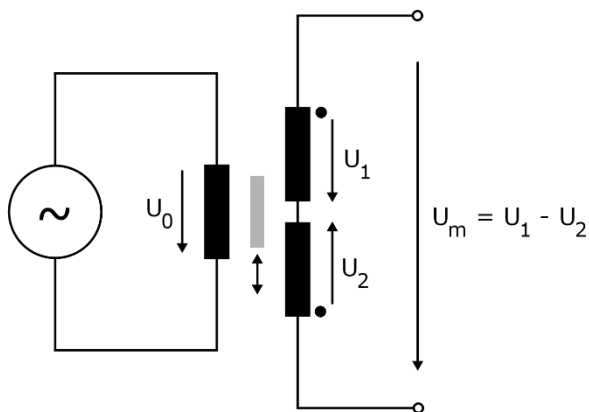
$$= U_0 * \frac{\mu_{r2}}{\mu_{r1} + \mu_{r2}}$$

- LVDT/RVDT (abhängig ob Winkel (RVDT) oder Weg (LVDT) gemessen wird)

Erläuterung: Für eine genaue Beschreibung des Prinzips siehe Frage 20

20. Beschreiben Sie das Prinzip eines LVDT!

Erläuterung: Es sind insgesamt drei Spulen verbaut (eine Primärspule, zwei Sekundärspulen). Durch den ferromagnetischen Kern herrscht eine Kopplung zwischen Primär- und Sekundärseite, welche abhängig der Position des Kerns, entweder vorrangig bei der oberen oder unteren Sekundärspule größer wird. Befindet sich der Kern in der Mitte ist die Kopplung in der oberen und unteren Sekundärspule gleich groß. Aufgrund der unterschiedlichen Wicklungsrichtung zwischen den beiden Sekundärspulen, kann die Differenz aus den beiden induzierten Spannungen auf Sekundärseite ausgewertet werden. Über eine weitere Verarbeitung der Spannung mit Gleichrichter und Tiefpass, kann das entstandene Ergebnis zur Wegmessung genutzt werden.



U_0 an Primärspule

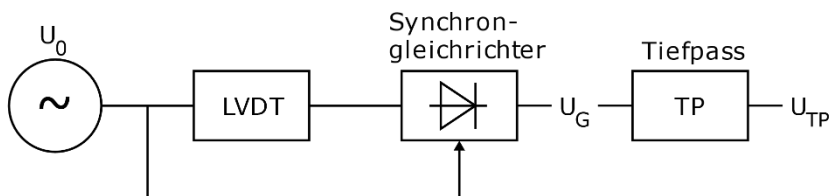
Sekundärspulen mit je umgekehrten Wicklungssinn

Zwischen Spulen befindet sich ein beweglicher Kern

Kern mitte: $U_m = 0$ ($U_1 = U_2$)

Kern oben: $U_m > 0$ ($U_1 > U_2$)

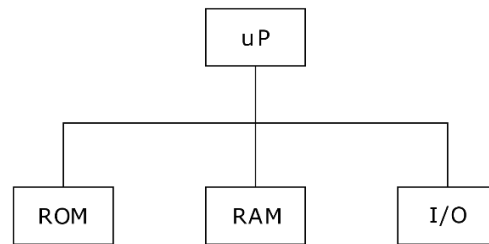
Kern unten: $U_m < 0$ ($U_1 < U_2$)



Das Prinzip des RVDT ist das Gleiche, nur mit rotatorischer Bewegung. Sie werden beispielsweise eingesetzt für Anstellwinkelgeber, Schubhebel und weitere.

21. Beschreiben Sie die Struktur und die Bestandteile eines Prozessorsystems!

- Prozessor (uP), Speicher/ROM (Festwertspeicher)/RAM (Zwischenspeicher), I/O



22. Welche Busse gibt es mindestens in einem Prozessorsystem?

- Datenbus
- Adressbus

23. Was sind Register?

- interner Datenspeicher, vor allem im Prozessor (teilweise auch in Peripheriebausteinen) auf den durch den Mikroprozessor schnell zugegriffen werden kann.
- Beispiele: Rechenregister, Stackpointer, Programcounter, Index-Register, Status-Register, Interrupt-Register

24. Welche Arten von Datenspeichern gibt es?

- RAM (Random Access Memory), weitere Unterteilung möglich (DRAM, NOVRAM...)
- ROM (Read Only Memory), weitere Unterteilung möglich (PROM, EPROM...)

25. Wie wird bei Existenz mehrerer Speicherbausteine der Zugriff auf den richtigen Chip realisiert?

- Chip Select
- Adressdecoder

26. Wie kann das Prozessorsystem schnell auf eine Anforderung von außen reagieren?

- Interrupt

27. Rechnen Sie die Bitfolge „00100111“ a) in eine Dezimalzahl, b) eine Hexadezimalzahl c) in eine Oktalzahl um!

- a) 39 ($2^0+2^1+2^2+2^5$)
- b) 27
- c) 047

28. Welche Binärzahl ergibt die Dezimalzahl 69? Welche BCD-Zahl würde sich ergeben?

- 1000101
- BCD (6 und 9 einzeln konvertieren) 6 = 0110, 9 = 1001

29. Wie unterscheiden sich serielle und parallele Schnittstellen?

- parallele Übertragung: Daten werden gleichzeitig über mehrere Leitungen übertragen
- serielle Übertragung: Daten werden hintereinander (über eine „Leitung“) übertragen

30. Wie kann die Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger bei seriellen Schnittstellen erzielt werden?

- mit dem Einsatz von „Hilfsbits“ wie beispielsweise einem Stopp- oder Startbit

31. Durch welche Maßnahme kann sichergestellt werden, dass die empfangene Nachricht nicht (genau) einen Bitfehler enthält?

- Parity Bit (Prüfsumme, odd=ungerade/even=gerade)

Zur Erkennung mehrerer Bitfehler oder gar zur Fehlerkorrektur eignet sich das folgende Verfahren:

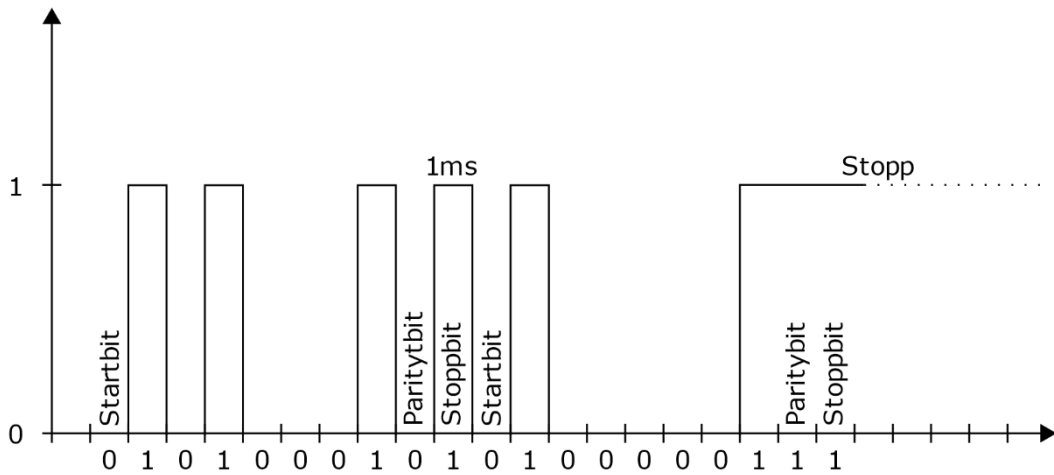
- Cyclic Redundancy Check, kurz CRC (Anwendung bei CAN-Bus als Prüfsumme)

32. Eine Datenübertragungsstrecke ist spezifiziert mit 9.600Bd, 7, 1, 0. Zeichnen Sie die Bitfolge, wenn die Zeichen „EA“ übertragen werden sollen mit Angabe der Zeiten an der Achse („E“ entspricht hexadezimal 45, „A“ ist dezimal durch 65 dargestellt)

0100 0101 \triangleq 45 \triangleq E (45 hexadezimal, 69 dezimal)
 0100 0001 \triangleq 41 \triangleq A (41 hexadezimal, 65 dezimal)

Lösung für Buchstaben EA

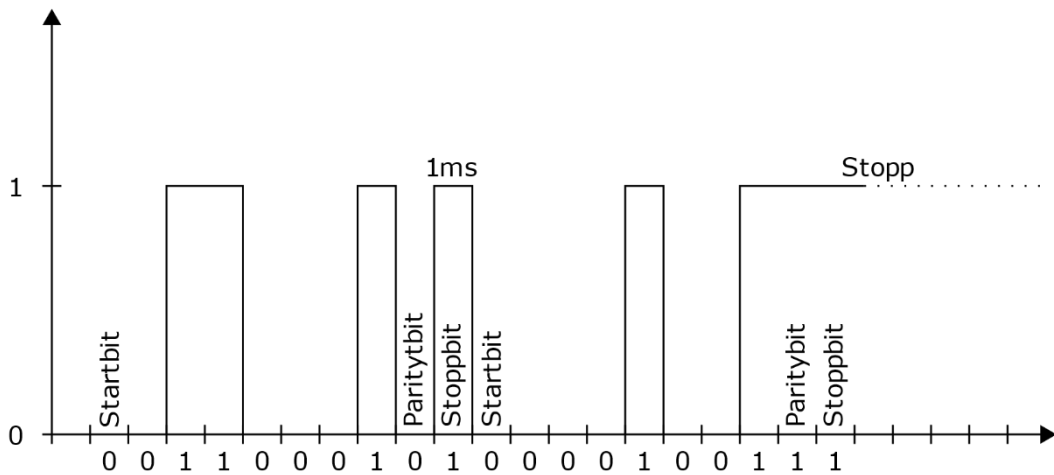
0100 (\triangleq 4) für Großbuchstaben, 0110 (\triangleq 6) für Kleinbuchstaben



$$1 \text{ Bit-Zeit} = \frac{1}{9600 \text{ s}^{-1}} \approx 100 \mu\text{s}$$

0100 0110 \triangleq 46 \triangleq F (46 hexadezimal, 70 dezimal)
 0100 1000 \triangleq 48 \triangleq H (48 hexadezimal, 72 dezimal)

Lösung für Buchstaben FH



$$1 \text{ Bit-Zeit} = \frac{1}{9600 \text{ s}^{-1}} \approx 100 \mu\text{s}$$

Hinweis: Die Lösung für „FH“ stellt nur ein weiteres Beispiel dar. Die Datenbits werden allgemein in umgekehrter Reihenfolge übertragen, so wie auch aus dem Diagramm ersichtlich.

33. Wie wird bei einem Multi-Master-System verhindert, dass mehrere Teilnehmer gleichzeitig senden?

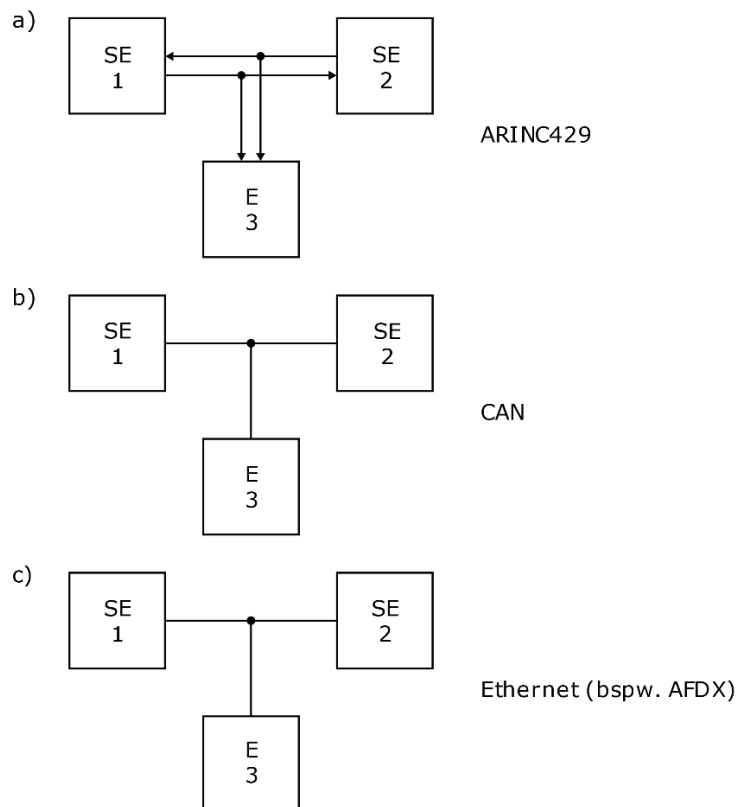
- Zeitslots
- Prioritätssteuerung
- Carrier Sense Multiple Access (CSMA)
- CD (= Collision Detection)
- CA (= Collision Avoidance)
- CR (= Collision Resolution)

34. Zeichnen Sie ein System auf mit 2 Geräten, die sowohl senden als auch empfangen können, und einem Gerät, das nur Signale empfängt.

a) auf ARINC429 basierend

b) auf CAN basierend

c) auf Ethernet (z.B. AFDX) basierend



35. Wie wird beim CAN-Bus die Prioritätssteuerung vorgenommen?

- Prioritätssteuerung über Identifier/Label (ebenfalls Extended Identifier möglich)

Erläuterung: Der Identifier besteht beim CAN-Bus aus 11 Bits (bei Extended Identifier um 18 Bits erweitert). Am Beispiel des CANaerospace lässt sich die Prioritätssteuerung sehr gut erkennen. Je nachdem in welchem Zahlenbereich die CAN-ID liegt, wird festgelegt wann die Nachricht übertragen wird. Die Priorität sinkt dabei mit steigendem Zahlenbereich. Die höchste Priorität haben die sogenannten EED (= Emergency Event Data), welche in einem CAN-ID Bereich von 0-127 (0x000-0x07F) liegen. Sie werden asynchron zum benötigten Zeitpunkt übertragen.

Möchte ein Teilnehmer senden, so wird zunächst überprüft, ob die Leitung frei ist (CS=Carrier Sense). Falls ja, kann der Teilnehmer mit der Sendung beginnen (MA=Multiple Access, im Prinzip könnten mehrere Sender gleichzeitig beginnen).

Allerdings kann es nun zur Kollision mit der Nachricht eines anderen Senders kommen. Eine Kollisionserkennung (CD=Collision Detection) wird nun realisiert, indem jeder Sender auch gleichzeitig die Signale vom Bus empfängt und überprüft, ob diese mit dem selber gesendeten Signal übereinstimmen. Auf dem Bus ist eine ‚0‘ dominant gegenüber einer ‚1‘, wird also gleichzeitig von einem Sender eine ‚1‘ gesendet während ein anderer Teilnehmer eine ‚0‘ sendet, setzt sich die ‚0‘ durch. Der Teilnehmer, der die ‚1‘ senden wollte erkennt nun, dass offenbar ein weiterer Sender den Bus beansprucht, der aber eine höhere Priorität hat (kleinerer Wert des Identifiers (ID) also hat diese ID früher eine ‚0‘). Diese bitweise ‚Arbitrierung‘ also die Buszuteilung erfolgt nur während der Arbitrierungsphase, in der die ID gesendet wird. Nur der Teilnehmer, der die ‚1‘ senden wollte, erkennt die Kollision und zieht sich zurück. Die Nachricht des höherpriorisierten Senders wird also nicht zerstört.

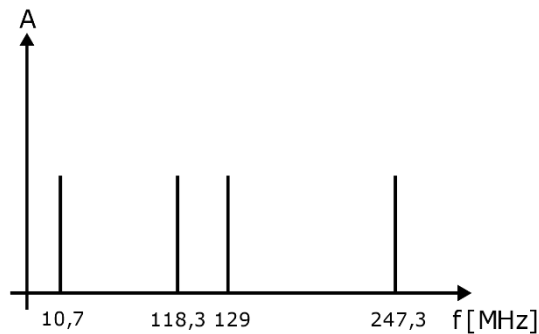
37. Der Antennengewinn einer Sendeantenne S1 beträgt 20dB. Der Gewinn einer zweiten Sendeantenne S2 beträgt 17dB. Über beide Antennen wird ein Signal mit 1W Sendeleistung abgestrahlt. Welches Signal ist in der Hauptstrahlrichtung besser zu empfangen? Wieviel höher ist die Empfangsleistung? Bestimmen Sie die effektiv abgestrahlte Leistung EIRP!

- Welches Signal ist in der Hauptstrahlrichtung besser zu empfangen? S1
- Wie viel höher ist die Empfangsleistung?

Faktor 2 ($10^{0,3}$), $20\text{dB} - 17\text{dB} = 3\text{dB} \rightarrow 0,3\text{B}$

- EIRP: $10^{\frac{20\text{dB}}{10}} = 10^2 = 100\text{W}$ für S1 und 50W für S2

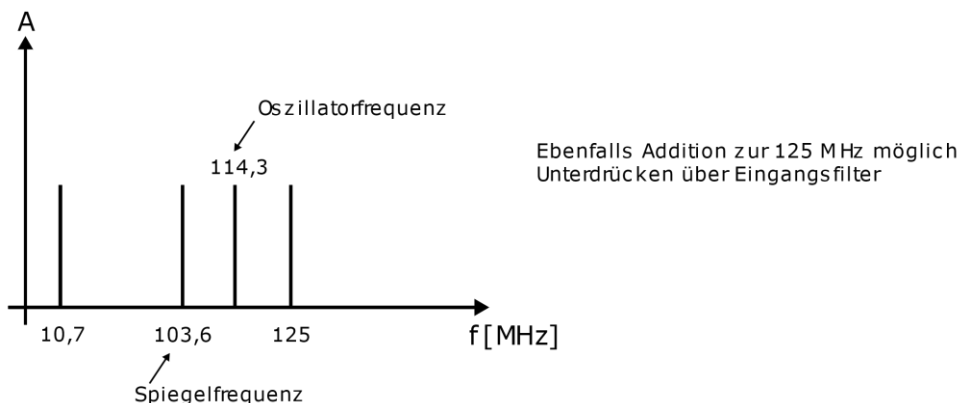
38. Zwei sinusförmige Signale mit den Frequenzen 129 MHz und 118,3 MHz werden durch Multiplikation miteinander gemischt. Welche Frequenzen entstehen?



39. Ein Empfänger wird mit einer Zwischenfrequenz von 10,7MHz betrieben. Die zu empfangende Frequenz betrage 125 MHz. Bestimmen Sie die erforderliche Oszillatorfrequenz. Welche Empfangsfrequenz muss wegen der Spiegelfrequenzproblematik unterdrückt werden?

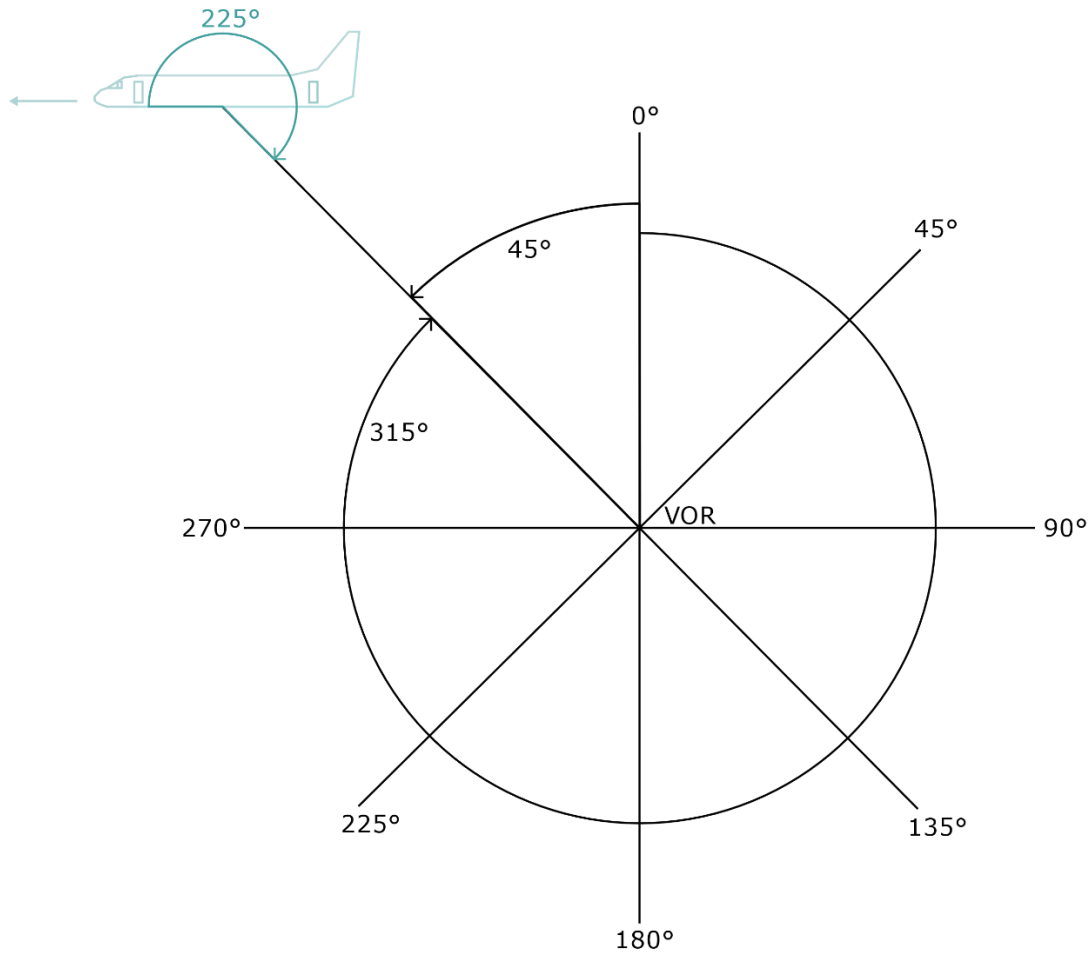
- Empfangsfrequenz = 125MHz
- Oszillatorfrequenz = $125\text{MHz} - 10,7\text{MHz} = 114,3\text{MHz}$
- Spiegelfrequenz = $114,3\text{MHz} - 10,7\text{MHz} = 103,6\text{MHz}$ (= zu unterdrückende Frequenz)

(Alternativ: Oszillatorfrequenz = 135,7MHz, Spiegelfrequenz = 146,4MHz)



40. Das frequenzmodulierte Signal eines VOR eilt gegenüber dem amplitudendemodulierten Signal um 45° nach. Das Flugzeug fliegt auf genau westlichem Kurs. In welcher Richtung, bezogen auf das Flugzeugkoordinatensystem, befindet sich der Sender des VOR?

- westlicher Kurs entspricht 270°
- AM-Umlaufsignal erreicht Maxima 45° früher als FM-Umlaufsignal
- Entspricht einer Phasenverschiebung von 315°
- Also befindet sich das Flugzeug auf dem Radial 315°



Aus der Zeichnung wird das Ergebnis mit einem Winkel von 225° ersichtlich

Bezogen auf das (horizontale) Flugzeugkoordinatensystem ergibt sich also ein Winkel von 225°.

41. Ein Flugzeug wird einmal in einer Entfernung von 20nm und später von 40nm von einem Primär-Radarsystem geortet. Die Empfangsleistung am Ortungssystem ist bei der größeren Entfernung naturgemäß schwächer. Um wieviel Prozent ist die Leistung bei der größeren Entfernung kleiner als bei der geringeren Entfernung?

$$- P'_e = \frac{A_e}{4 \cdot \pi \cdot r^2} * P'_s = \frac{A_s}{4 \cdot \pi \cdot r^2} * \frac{A_s}{4 \cdot \pi \cdot r^2} * P_s = \frac{A_s \cdot A_e}{16 \cdot \pi^2 \cdot r^4} * P_s$$

→ doppelte Entfernung liefert $\frac{1}{16}$ der Leistung (6,25%), es ist also eine Reduktion um 93,75%!

42. Wodurch kann es bei einem Sekundärradarsystem zu einer fehlerhaften Anzeige kommen und wie kann diese vermieden werden?

- Überreichweite, Abfrage ausgelöst durch fremde Bodenstation

Abhilfe:

- Herabsetzen der Impulsfolgefrequenz

- Nebenkeulenabfrage

Abhilfe:

- Nebenkeulenunterdrückung/Side Lobe Suppression

Erläuterung: P1 und P3 wird über drehende Richtantenne gesendet, P2 über Rundstrahlantenne. Wenn P2 einen höheren Pegel hat als P1, wird keine Antwort gegeben, weil dann eine Nebenkeule empfangen wurde.

- Mehrfachabfrage, Abfrage ausgelöst durch fremde Bodenstation

Abhilfe:

- Defruiter

- Schlüsselverwirrung, zweites Flugzeug in gleicher Auflösungszelle

Abhilfe:

- Schlüsselentwirrer/Code Degarbler

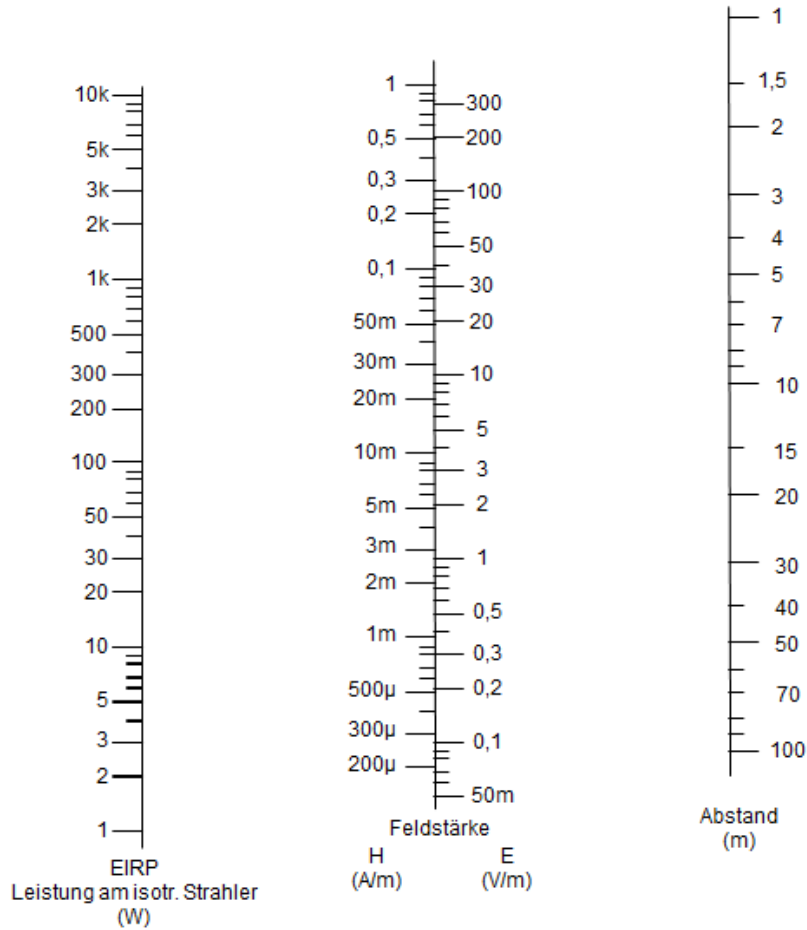
- zusätzlich möglich: Nutzung eines Mode S Transponders

43. Aus wie vielen Impulsen besteht die Information über die ID (Squawk) bei einem Mode C- Transpondersystem?

- 12 Impulse sind notwendig (Zusammensetzung aus 4 Oktalziffern à 3 Bits)

44. Ein Funkgerät sendet in der Nähe eines gestörten CD-Players (in 50cm Abstand). Offensichtlich wurde die max. zulässige Feldstärke von 3V/m überschritten. Der Abstand des Funkgerätes wird nun auf 2m erhöht. Um welchen Faktor verringert sich die Feldstärke am CD-Player?

- Abstand wird vervierfacht, Feldstärke verringert sich um den Faktor 4
- $E = \frac{1}{r} * \sqrt{30\Omega * P_s * G}$, grafische Lösung ebenfalls möglich, wenn konkrete Werte angegeben sind und falls Nomogramm in Klausur mitgeliefert ist.



Anhang

ARINC 429 Labels

IRS (Inertial Reference System) Equipement ID: 004

Binär kodierte Daten (BNR)

Label	Parameter	Update Rate	Range	Units	Sig Bits	Resolution	Positive Sense	Label
310	Present Position - Latitude	8	±180°	Deg	20	0,000172	North From Zero Deg.	310
311	Present Position - Longitude	8	±180°	Deg	20	0,000172	East From Zero Deg.	311
312	Ground Speed	16	4096	Knots	15	0,125	Always Positive	312
313	Track Angle - True	32	±180°	Deg	15	0,0055	Cw from North	313
314	True Heading	32	±180°	Deg	15	0,0055	Cw from North	314
315	Wind Speed	16	256	Knots	8	1	Always Positive	315
316	Wind Angle	16	±180°	Deg	8	0,703125	Cw from North	316
317	Track Angle - Magnetic	32	±180°	Deg	15	0,0055	Cw from North	317
320	Magnetic Heading	32	±180°	Deg	15	0,0055	Cw from North	320
321	Drift Angle	32	±180°	Deg	12	0,044	Right	321
322	Flight Path Angle	32	±180°	Deg	12	0,05	Up	322
323	Flight Path Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Forward	323
324	Pitch Angle	64	±180°	Deg	14	0,011	Up	324
325	Roll Angle	64	±180°	Deg	14	0,011	Right Wing Down	325
326	Body Pitch Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156	Up	326
327	Body Roll Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156	Right Wing Down	327
330	Body Yaw Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156	Nose Right	330
331	Body Longitud. Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Forward	331
332	Body Lateral Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Right	332
333	Body Normal Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Up	333
334	Platform Heading	16	±180°	Deg	11	0,088	Cw from Zero Deg.	334
335	Track Angle Rate	64	±32°	Deg/s	11	0,0156	Cw	335
336	Inertial Pitch Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156	Up	336
337	Inertial Roll Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156		337
340	Inertial Yaw Rate	64	±128°	Deg/s	13	0,0156	Right Wing Down	340
360	Potential Vertical Speed	32	±32.768	ft/min	15	1	Up	360
361	Altitude (Inertial)	32	±131.072	ft/min	20	0,125	Up	361
362	Along Track Horiz. Accel.	64	±4	g	12	0,001	Forward	362
363	Cross Track Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Right	363
364	Vertical Acceleration	64	±4	g	12	0,001	Up	364
365	Inertial Vertical Velocity (EFI)	32	±32.768	ft/min	15	1	Up	365
366	North-South Velocity	16	±4096	Knots	15	0,125	North	366
367	East-West Velocity	16	±4096	Knots	15	0,125	East	367

BCD kodierte Daten

Label	Parameter	Update Rate	Range	Units	Sig Bits	Resolution	Positive Sense	Label
010	Present Position - Latitude	2	±180°	Deg:Min	6	0,1	North from Zero Deg	010
011	Present Position - Longitude	2	±180°	Deg:Min	6	0,1	East from Zero Deg	011
012	Ground Speed	2	7000	Knots	4	1	Always Positive	012
013	Track Angle - True	2	360	Deg	4	0,1	Cw from North	013
014	Magnetic Heading	2	360	Deg	4	0,1	Cw from North	014
015	Wind Speed	2	256	Knots	3	1	Always Positive	015
016	Wind Direction - True	2	360	Deg	3	0,1	Cw from North	016
041	Set Latitude	2	±180°	Deg:Min	6	0,1	North from Zero Deg	041
042	Set Longitude	2	±180°	Deg:Min	6	0,1	East from Zero Deg	042
043	Set Magnetic Heading	2	360	Deg	3	1	Cw from North	043
044	True Heading	2	360	Deg	4	0,1	Cw from North	044

Erläuterungen zu binär kodierten Daten (BNR) bei ARINC429:

Das BNR-Format weicht in seiner Spezifikation beim ARINC429 deutlich von dem BCD-Format ab. Das Vorzeichen wird nicht in der Sign and Status Matrix (SSM, Bits 30, 31) kodiert. Vielmehr wird die gesamte Zahl im Zweierkomplement dargestellt (dazu später).

Als Vorzeichenbit wird beim BNR-Format das Bit 29 verwendet

Die für den entsprechenden Label angegebene Anzahl der Bits der Binärzahl (im Beispiel 15) wird ohne Mitzählen des Vorzeichens, also beginnend bei Bit 28 abgezählt. Der Rest ist mit Nullen aufgefüllt (sogenannte Padding Bits).

Beginnend mit dem höchstwertigen Bit (Bit 28) multipliziert man den Wert für den „Range“ (hier 4096) mit jeweils $2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3}$ etc. also mit $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$

Für jedes gesetzte Bit (jede 1) multipliziert man dann mit dem jeweiligen Wert (siehe rote Zahlen unter dem Bild). Die Summe ergibt dann den übertragenen Wert für die Geschwindigkeit in Knoten.

Zum selben Ergebnis kommt man auch, wenn man mit Bit 29 (MSB=Most Significant Bit) beginnend die Anzahl der signifikanten Bits (hier: 15) nach rechts abzählt. Bit 14 ergibt sich dann als LSB (Least Significant Bit). Wandelt man diese komplette 15stellige Binärzahl in eine Dezimalzahl um und multipliziert sie mit der angegebenen Auflösung (hier 0,125), so kommt man zum selben Ergebnis (hier 512 Knoten).

Das untenstehende Bild ist der Original Spezifikation des ARINC429 (429P1-17) entnommen (Table 6-2-1), wurde allerdings korrigiert und ergänzt, da das Bit 29 schlichtweg vergessen wurde:

P	31	30	29	28	15 Bit											14	11	SDI	8	7	6	5	4	3	2	1					
	SSM		+																LABEL												
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
Example:	512 Knots (i.e., $\frac{1}{8} \times 4096$ where 4096 is entry in range column of Table 2, Att. 2)																N-S VELOCITY (366)														
			Vorzeichen	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125													

Zum Zweierkomplement:

Negative Zahlen werden für eine Berechnung in einem Prozessor sinnvollerweise derart dargestellt, so dass Additionen und Subtraktionen immer gleichartig berechnet werden kann. Addiert man beispielsweise zu der fünfstelligen Binärzahl 00111 (dezimal 7) eine 1 dazu so erhält man die Binärzahl 01000 (also dezimal 8).

Stellt man eine Minus 1 als 11111 (dies ist das Zweierkomplement) dar, so erhält man bei einer Erhöhung um 1: 00000.

Als Mensch kann die Konvertierung einer negativen Binärzahl besonders einfach erfolgen, indem man sich zunächst den Betrag errechnet, indem man alle Bits invertiert (11111 -> 00000), diese dann positive Zahl in eine Dezimalzahl umwandet (hier 0) und dann eine 1 addiert. Dann wird noch ein Minuszeichen vorangestellt.