

# Anforderungen an einen modernen AE-Signalprozessor

Hartmut VALLEN, Jochen VALLEN, Jens FORKER,  
Vallen-Systeme, Icking

**Kurzfassung.** Der AE Signalprozessor ist ein zentrales Element eines Schallemissionsprüfsystems, in dem das analoge AE-Signal in digitale Informationen, Merkmale und Wellenformdaten, umgesetzt wird. Dieser Beitrag rekapituliert das in den letzten Jahren erhaltene Feedback bezüglich neuer Anforderungen an einen modernen AE-Signalprozessor für die industrielle AE Prüfdienstleistung, sowie die nun vorliegende technische Umsetzung dieser neuen Anforderungen.

## 1. Übersicht

Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Schema eines modernen Schallemissionsmesssystems. Die im Testobjekt erzeugte Schallwelle wird an einer oder mehreren Positionen von einem Schallemissionssensor aufgenommen und in ein elektrisches AE-Signal umgewandelt. Das AE-Signal wird in einem Vorverstärker verstärkt und in einem AE-Signalprozessor in digitale Informationen konvertiert. Üblicherweise werden dort Burstinformationen als Merkmals-Datensätze und optional als Wellenform-Datensätze erzeugt. Diese Datensätze gelangen zu einem PC, werden dort weiter aufbereitet, gespeichert und je nach Anwendung später oder auch sofort („online“) lokal ausgewertet. Zunehmend werden Anlagen auch per Fernzugriff (Remote Control) über ein Local Area Network (LAN) oder das Internet bedient.

Wie Bild 1 zeigt, spielt der AE-Signalprozessor im AE-Prüfsystem eine zentrale Rolle.

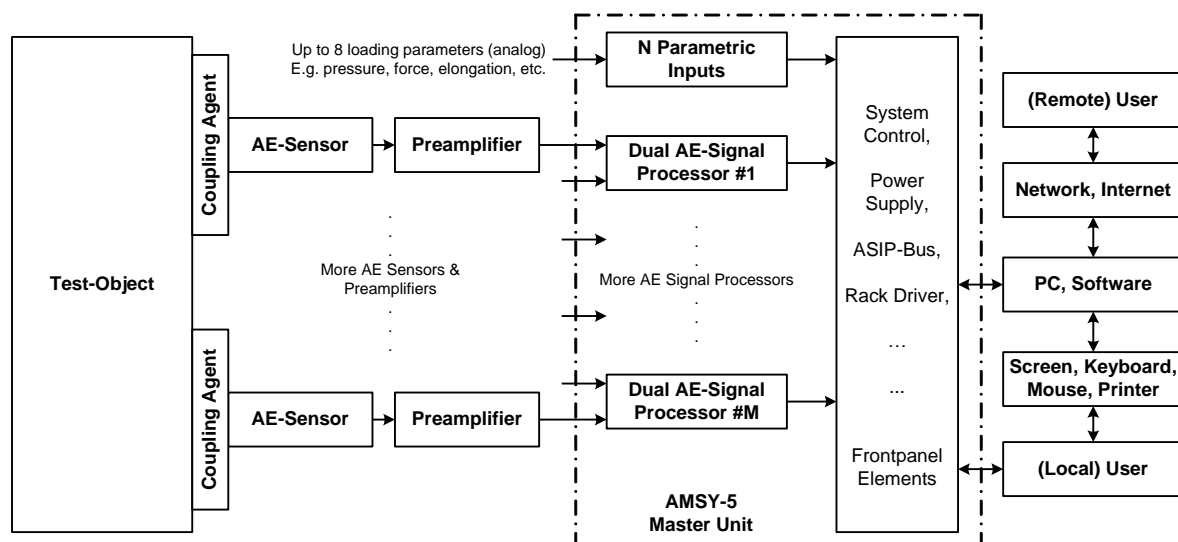


Bild 1 Blockschaltbild eines AE-Systems

Der Fortschritt in der Elektronik bietet ständig Möglichkeiten, bisherige Engpässe zu überwinden und gute Produkte durch noch bessere zu ersetzen. Seit 1996 wurden die AE-Systeme AMSY4, später AMSY-5, mit den AE-Signalprozessoren vom Typ ASIPP geliefert. Es erreichten uns Wünsche und Tipps für Verbesserungen, die in die folgende Anforderungsliste einbezogen wurde. Die Liste enthält zu jedem Punkt kurze Erläuterungen und soll einen raschen Überblick über die Komplexität des Themas aufzeigen. Die Liste geht auf Softwareaspekte nur insoweit ein, wie es die Funktionalität des AE-Signalprozessors betrifft.

*Das Nachfolgemodel der ASIPP, der neue Dual-AE-Signalprozessor ASIP-2, wird seit Mai 2007 in einer Standardausführung (ASIP-2/S) und einer „advanced“ Version (ASIP-2/A) ausgeliefert.*

*Unter jedem Punkt der nachfolgenden Liste sind Angaben zum Stand der Technik ASIP-2 (Juli 2007) in kursiver Schrift und 10Pkt Größe angegeben. Eckige Klammern umschließen Angaben, die nur für die „advanced“ Version ASIP-2/A gelten..*

## 2. Anforderungen an einen AE-Signalprozessor

### 2.1 Generelle AE-Unterstützungsfunktionen

- Speisung des Vorverstärkers mit Betriebsspannung (meist  $28V_{DC}$ ) auf der Signalleitung, um separate Stromversorgungen und aufwändigere Verkabelung zu vermeiden, besonders wichtig bei großen Kanalzahlen.  
*ASIP-2: Eingangsmodi:  $28V_{DC}$  an  $50\Omega$ , oder AC, an  $100k\Omega$  [oder  $8-28V_{DC}$  (programmierbar) an  $50\Omega$  oder  $200\Omega$ ]. Im AC Mode darf der Kanal zu einem Kanal im DC-Mode geschaltet werden.*
- PC-gesteuerte Verstärkungseinstellung des Vorverstärkers, um fehleranfällige manuelle Einstellungen zu vermeiden oder Zeit für die manuelle Umschaltung (Deckel entfernen und schließen) einzusparen.  
*ASIP-2 unterstützt die programmierbare Verstärkung des AEP3 Vorverstärkers. Übertragung durch Impulse auf dem Signalkabel.*
- Überwachung der Vorverstärker-Anschlussleitung auf Kurzschluss und Unterbrechung, um den Bediener ggf. sofort auf ein Verkabelungsproblem hinzuweisen.  
*ASIP-2 überwacht die DC-Stromaufnahme des Vorverstärkers und zeigt 3 Zustände an:*

Strom:	Anzeige der LED "Open":	
<10mA:	gelb	(kein Vorverstärker angeschlossen)
11<90mA:	aus	(normal)
> 90mA:	rot blinken	(Überlast, Kurzschluss)
- PC-gesteuertes Durchschalten eines Prüfimpulses über den Vorverstärker eines selektierten Kanals zum piezoelektrischen Element des angeschlossenen Sensors. Dies regt im Testobjekt eine AE Welle an, die nach Ausbreitung an benachbarten Sensoren aufgenommen wird. Die so gewonnenen Daten können zur automatischen Überprüfung der Sensorkopplung und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit genutzt werden.  
*ASIP-2: Zentral erzeugter programmierbarer Puls wird unter PC-Kontrolle über AE-Signalprozessor und Vorverstärker an einen bestimmten Sensor durchgeschaltet. Siehe Bild 2: Relais R1 und R2.*
- Wiedergabe der Umhüllenden des AE-Signals über einen Lautsprecher (Audio Ausgang).  
*ASIP-2: Schalter zum An- und Abschalten der Audio-Ausgangsfunktion an der Frontplatte (pro Kanal). Die Wiedergabe erfolgt durch den Lautsprecher im ControlPanel des AMSY-5. .*
- Schutz des Eingangs vor Überstrom und Überspannung.

ASIP-2: 375mA/130V-Sicherung am Eingang und Zenerdioden +33V und -5V, bis 10A (1ms) belastbar.

- Einfache Möglichkeit mehr als 2 Kanäle parallel schalten zu können, um für den gleichen Sensor unterschiedliche Filter oder Schwellwerte anwenden zu können.  
*Eine ASIP-2 auf 28 V / 50  $\Omega$  einstellen, Es können beliebig viele weitere ASIP-2 Kanäle parallel geschaltet werden, ohne die Impedanzanpassung zu stören, wenn diese auf AC / 100 k $\Omega$  eingestellt sind.*

## 2.2 AE-Mess-, Filter- und Verarbeitungsfunktionen

- Hochpass- und Antialiasing Filter vor dem Analog-Digital-Wandler (ADC) zur Sicherstellung der Signalqualität und zur Vermeidung von Übersteuerung durch niederfrequente Signale.  
*ASIP-2: Siehe Bild 2: Filter Board 37FB1  
Hochpass: 1,6kHz / 18kHz (an Schalter umschaltbar), 3. Ordnung;  
Tiefpass: 2,4MHz, 5. Ordnung.  
Weitere umfangreiche digitale Filtermöglichkeiten nach dem Analog-Digital-Wandler.*
- Schneller hochdynamischer Analog-Digital-Konverter (ADC):  
*ASIP-2: 40 Mill. Samples pro Sekunde (MSPS), 16 Bit.*
- Digitale Nachfilterung des ADC-Datenstroms um das Signal-Rausch-Verhältnis für die jeweilige Anwendung zu optimieren.  
*ASIP-2: Digitaler FIR-Filter Tiefpass 2,5MHz 27 Tabs, 40MSPS, danach 10 IIR-Filterstufen, je 2. Ordnung (je 38 Bit intern, 18 Bit extern) bei 20MSPS, programmierbar, toleranzfrei durch digitale Technik. Siehe Bild 2: FilterChains IIR1..4 und IIR5. Weitere Erläuterungen in Kapitel 4*
- Frequenzfilter: Die folgenden Frequenzbereiche wurden in der Vergangenheit am stärksten nachgefragt:
  - 100-300 kHz für die Integritätsprüfung an metallischen Prüfobjekten.
  - 25-45 kHz für die Korrosions- und Leckageprüfung an großen Lagertanks
  - 50-300 kHz für die Prüfung von Testobjekten aus Kunststoffen, Beton u. a.,  
*ASIP-2: enthält vorkonfigurierte Bandpässe: 25-45kHz, 25-100kHz, 25-300kHz, 25-850kHz, 50-300kHz, 50-850kHz, 95-300kHz, 95-850kHz, 230-850kHz. Weitere optional. [/A enthält alle verfügbaren Filter]*

Generell ist zu sagen:

Je höher der beobachtete Frequenzbereich umso kürzer ist die Reichweite der Schallwellen, aber auch umso geringer die Wahrscheinlichkeit von Störeinflüssen. Um störende Frequenzen wirkungsvoll zu eliminieren, sollen die Filter einen möglichst steilen Abfall, d.h. eine möglichst hohe Ordnung aufweisen. Der benötigte Frequenzbereich sollte per Software an die Erfordernisse der aktuellen Anwendung angepasst werden können.

*ASIP-2: 8. Ordnung Hochpass und 8.Ordnung Tiefpass = 48dB/Oktave.  
Frequenzbereich kann im Menü selektiert werden.*

- Bandsperrenfilter: In manchen Umgebungen treten kontinuierliche Störsignale hoher Frequenz auf, die sich praktisch nur durch einen Filter, der als Bandsperre konfiguriert ist, soweit eliminieren lassen, dass eine Schallemissionsprüfung sinnvoll möglich wird. Dieser Anforderung begegnet man beispielsweise bei der Prüfung von Tankschiffen, wo nicht abschaltbare Ultraschallgeräte, z.B. zur Überwachung des Füllstands, die Schallemissionsprüfung stark stören können.  
*ASIP-2: [Sperrfilter vorgesehen, SW-Unterstützung in Vorbereitung für Ende 2007]*
- Triggerung der Merkmalextraktion und der Wellenformspeicherung (mit Pretrigger) mittels fester oder gleitender Schwelle.  
*ASIP-2: Feste und gleitende Schwelle (gleitend: proportional zu Hintergrund-RMS).*

- Burstabgrenzung für Merkmalsextraktion über Zeitparameter (Duration Discrimination Time bzw. Hit Lockout Time und Rearm Time). Im Fall einer Leckage soll die dann einsetzende kontinuierliche AE nicht zur Blockade der Datenaufzeichnung führen.  
*ASIP-2: Abgrenzung mit Zeitparameter DDT (Duration Discrimination Time), RAT (Rearm Time). Bei Dauersignal erfolgt Hit-Abbruch und dann weitere zeitgesteuerte Pseudo-Hit-Daten, so dass das Dauersignal nachvollziehbar wird. und eine Blockade durch ein Dauersignal vermieden wird.*
- Merkmalsextraktion über die tatsächliche Dauer eines Bursts (kann wenige  $\mu$ s oder etliche 10ms dauern) zur Erzeugung kompakter und statistisch auswertbaren Daten. (Übliche Transientenrekorder speichern pro Trigger eine konstante Rekordlänge (z.B. 4-8 KByte). Eine Merkmalsextraktion aus solchen Transientendaten kann nur über die gewählte Rekordlänge erfolgen. Das wäre nicht normgerecht [1])  
*ASIP-2: Merkmalsextraktion umfasst die tatsächliche Dauer des Bursts gemäß den Abgrenzungskriterien. Extrahiert wird: Ankunftszeit, Max.Amp. A, Anstiegszeit R, Dauer D, Überschwinger Cts, Energie E (Quadrierung), Hintergrundgeräusch RMS, Schwelle Thr, Cascaded Hits Chit, Cascaded Counts Ccts, Cascaded Energy Ceny, Flag, Transientenrecorder-Index TRAI. Zeitstempelauflösung 10 MHz Cascaded Parameter: Umfasst ggf. weitere Hits, falls diese vor Ablauf der Rearmtime detektiert werden. [In Vorbereitung: Wellenformspeicherung und Zeitstempelauflösung mit 20 und 40 MHz.]*
- Modal AE Filter: Für bestimmte Anwendungen soll der niederfrequente Extensional Mode in den aufgenommenen Wellenformdaten zwar enthalten sein, aber nicht zur Triggerung von Bursts führen. Bursts sollen nur getriggert werden, wenn ein Signal auch höhere Frequenzen enthält. Mit den üblichen 95 kHz Hochpässen werden die niederen Frequenzen bereits weitestgehend ausgeblendet und können bei einer Wellenmodeanalyse nicht berücksichtigt werden. Für solche Anwendungen benötigt man vor dem Schwellenvergleich einen zusätzlichen programmierbaren Hochpass.  
*ASIP-2: [Vorgesehen für Ende 2007, in Vorbereitung] (Siehe Bild 2: IIR5, Bus Switch S1 in oberer Position)*
- Messketten-Sättigungsanzeige: Bei Dämpfungsmessungen an Objekten mittels Hsu-Nielsen-Quelle kann der Messbereich des Vorverstärkers (100mVp) überschritten werden. Je nach anwendungsspezifischem Filter, kann dies in den Daten schwierig zu erkennen sein. Eine Anzeige eines Sättigungsereignisses an der Frontplatte und in den Daten wäre wünschenswert.  
*ASIP-2: Der ADC befindet sich nun vor dem anwendungsspezifischen Filter. Wird er zu mehr als 95% des Messbereichs angesteuert blinkt die Threshold LED an der Frontplatte gelb statt grün. Ein entsprechendes Flag im Datensatz ist in Vorbereitung.*
- Merkmaldaten-Flags: Für höchstmögliche Transparenz der Daten müssen folgende besonderen Vorkommnisse durch Flags im Merkmaldatensatz gekennzeichnet sein: „Gesendetes Kalibriersignal“, „Empfangenes Kalibriersignal“, „Hitabbruch wegen Dauersignal“, „Zeitgesteuerter Merkmalset“ (wenn Dauersignal anliegt), „Datenrate wegen fast vollem Ausgabepuffer gedrosselt“, „Datenrate wegen halbvollem Eingangspuffer gedrosselt“. Jedes Flag soll im Listing angezeigt und in einem Filter als Filterkriterium verwendet werden können.  
*ASIP-2: Wie beschrieben realisiert. War schon in Vorversion ASIPP realisiert.*
- Kontinuierlicher Streamingmode  
*ASIP-2: in Vorbereitung, geplant für Ende 2007*
- Wellenformaufzeichnung mit Zeitstempel und bequemer Zuordnungsmöglichkeit zu den Merkmalsdaten.  
*Wellenformen können derzeit mit 10 MSPS aufgenommen und gespeichert werden. Zuordnungsmöglichkeit: Doppelklick in Merkmaldiagramm adressiert zugehörige Wellenform.*

[In Vorbereitung: Samplingrate und Zeitstempelauflösung 40MHz.]

- Frontendfilter: Mit Filterkriterien für Amplitude, Energy, Counts und Duration kann die Speicherung von unerwünschten/störenden Merkmalsdaten verhindert werden. Die zugehörigen Wellenformdaten sollen dann gar nicht gelesen werden um die durchschnittliche Erfassungsrate von Wellenformen zu erhöhen und Platz auf dem Permanentenspeicher und Zeit bei der Analyse zu sparen.  
*ASIP-2: Frontendfilterung nach A, E, D, Cts möglich, kann für Merkmalsdaten und Wellenformen unterschiedlich eingestellt werden.*
- Messung des kontinuierlichen Hintergrundgeräuschs, um während des Tests stärker werdende kontinuierliche Störquellen identifizieren zu können (Hintergrundgeräusch wird in manchen Anwendungen als Filterkriterium verwendet)  
*ASIP-2: wird als RMS Wert gemessen, und kann vom Merkmalsdatensatz und periodischen (programmierbares Zeitintervall) Statusdatensätzen gelesen werden..*
- Paralleles Messen von hit- und zeitgesteuerten parametrischen Daten an bis zu 8 Kanälen (Belastungsparameter).  
*AMSY-5: 2, 4, oder 8 parametrische Eingänge, jeder bis 5000 Samples pro Sekunde. Speicherung mit Burstdaten (hitgesteuert) und in programmierbarem Zeitintervall.*
- Zwischenspeicher für Merkmalsdaten  
*ASIP-2: Ausreichend für 30.000 hits/s*
- Großer beliebig segmentierbarer Zwischenspeicher für Wellenformdaten, segmentierbar für eine große Zahl von Records, um die Speichernutzung zu optimieren (nur Burst, d.h. kurze Zeitbereiche mit überschrittener Schwelle sind von Interesse). Da viele Kanäle gleichzeitig in ihren lokalen Speicher schreiben können, aber von allen Kanälen sequentiell gelesen werden muss, kann der Kanalspeicher schneller beschrieben als gelesen werden. Die Zahl der im Zwischenspeicher ablegbaren Records bestimmt, wie lange Daten in der Spitzenerfassungsrate (Burst/s) gespeichert werden können, bevor der Speicher voll läuft.  
*ASIP-2: 0 / 8 /64 / 256MB Zwischenspeicher pro Kanal, segmentierbar in Recordlängen ab 256 Samples bis 512 KSamples.*
- Auslesen der getriggerten Speicherbereiche während weitere Records getriggert werden, um (bis zu bestimmten mittleren Ereignisraten) stets freien Platz im Kanalspeicher zu gewährleisten (bis die Festplatte voll ist).  
*ASIP-2: Lesen derzeit mit 2,5 MB/s, Erhöhung in Planung*

### 2.3 Anforderungen an Kanalzahl und Geschwindigkeit

- Mit wachsender Akzeptanz der AE-Methode werden immer größere Kanalzahlen pro System benötigt. Je größer die durch Druckbeaufschlagung betroffene Oberfläche eines Testobjekts umso größer die Zahl der zu verwendenden Sensoren. Prüfungen mit über 100 Sensoren wurden in den letzten Jahren immer häufiger.  
*ASIP-2: Dual-Karte verdoppelt die Kanalzahl bei gleichem Gewicht und Volumen.  
Für Systeme mit kleinen und großen Kanalzahlen gleichermaßen geeignet.*
- Je größer die Zahl der Sensoren, umso größer kann die Rate der zu messenden Bursts werden, umso höher die Rate der anfallenden Daten, die zum PC zu übertragen, dort zu speichern und ggfs. sofort und ohne Verzug auszuwerten sind.  
*AMSY-5 mit ASIPP oder ASIP-2: kann bis zu 30.000 Merkmalsdatensätze/s generieren, speichern und anzeigen.*

## 2.4 Anforderungen an die Flexibilität der Anlagenkonfiguration

- AE Dienstleister bevorzugen kleine (2-4 Kanäle) bis mittelgroße (16-32 Kanäle) Systeme und möchten diese bequem und ohne Hardwareadressen ändern zu müssen, zu beliebig großen Systemen (oft > 100 Kanäle) zusammenschalten.  
*AMSY-5: Es können bis zu sechs Systeme ohne Hardwareadressänderung zusammengeschaltet werden. Mapping von beliebigen logischen Kanalnummern auf Hardwarenummern (Box- und Platinenadressen) vom Anwender modifizierbar.*
- Wenn Hardwareadressen geändert werden müssen, z.B. weil Kanäle von einer Box in eine andere gesteckt werden sollen, muss die Software eventuelle Adresskonflikte automatisch erkennen und darauf hinweisen.  
*ASIP-2: Adresskonflikte werden erkannt und angezeigt. Die Anlagenkonfiguration wird automatisch festgestellt und kann ausgedruckt werden.*
- Ältere Anlagen sollen mit dem neuen AE-Signalprozessor erweiterbar sein  
*ASIP-2 und ASIPP können im gleichen Gehäuse kooperieren. Einschränkung: Ältere Systemgehäuse haben keine ausreichend starke Stromversorgung was die maximal mögliche Kanalzahl auf die Anzahl der Steckplätze begrenzt.*

## 3. Blockschaltbild des ASIP-2 AE-Signalprozessors

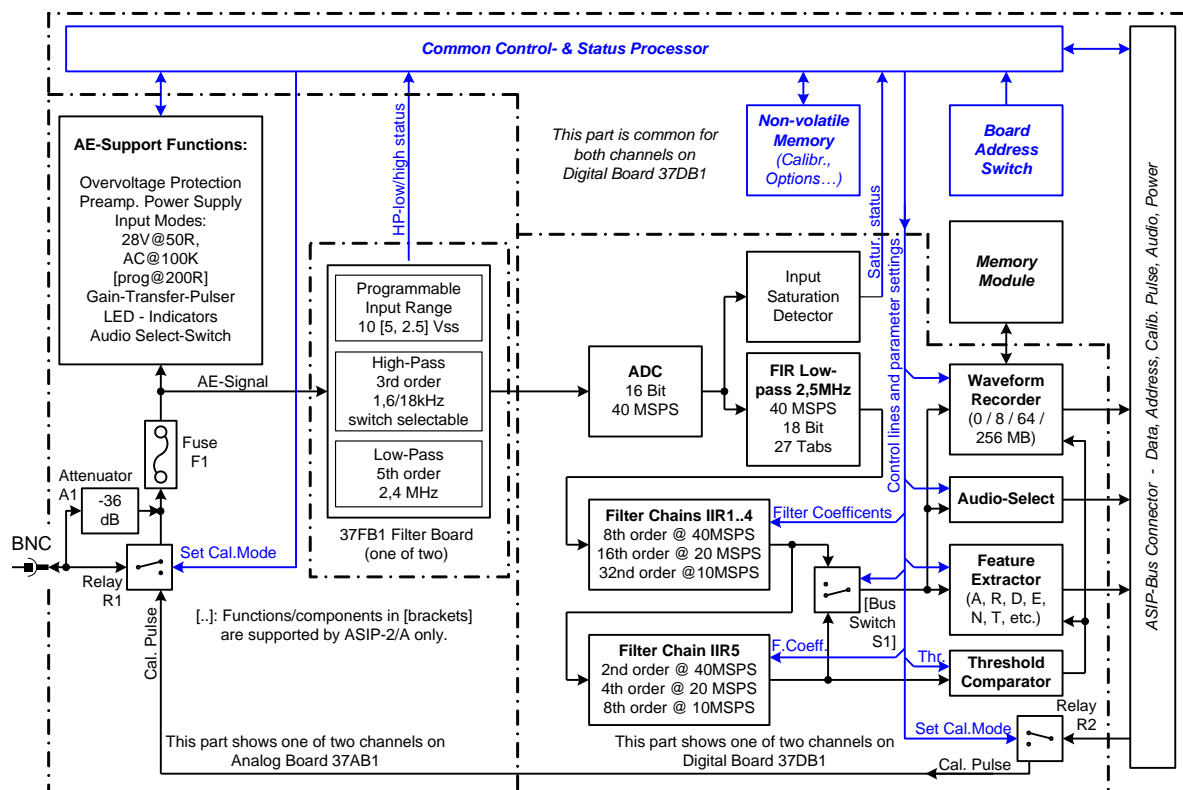


Bild 2: Blockschaltbild AE-Signalprozessor ASIP-2

Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild für einen Kanal (von zwei) des neuen AE-Signalprozessors ASIP-2. Die schwarzen Verbindungslinien zwischen den Blöcken stellen wichtige Signalpfade dar, die blauen Linien kennzeichnen wichtige Steuer- und Status-Signale.



### 3.1 ASIP-2 besteht aus 3 Board-Typen

Jede ASIP-2 besteht aus einem Analogboard, zwei Filterboards (auf dem Analogboard montiert, siehe #193 und #194 in Bild 3) und einem Digitalboard. Diese Komponenten sind stabil miteinander und mit der Frontplatte verschraubt. Siehe Bild 3.

Die Strich-Punkt-Linien im Blockdiagramm zeigen, welche Funktionen auf welchem der drei Board-Typen realisiert sind. In kursiver Schrift beschriebene Blöcke sind für beide Kanäle gemeinsam vorhanden, alle anderen Blöcke existieren zweimal pro ASIP-2.

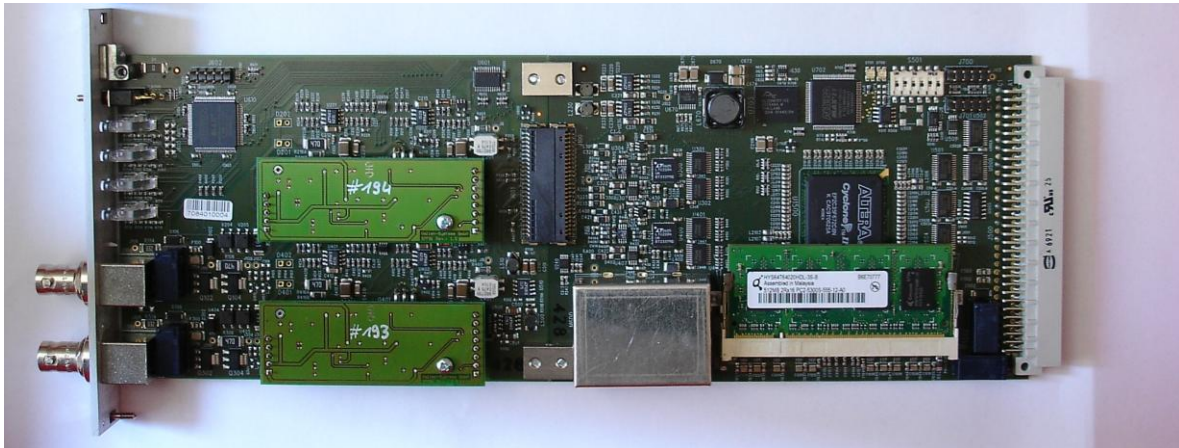


Bild 3 Aufsicht auf ASIP-2

## 4. Digitale Filterung

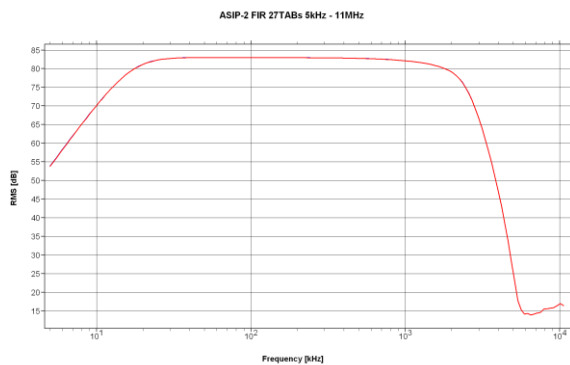
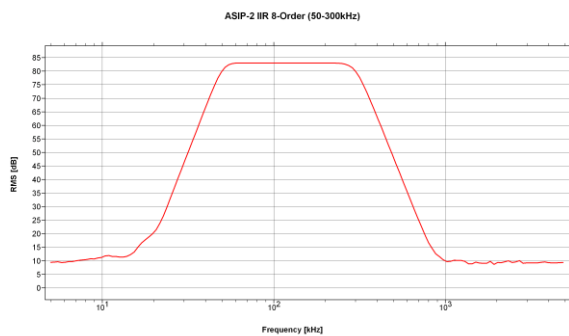


Bild 4: Frequenzgang vom Eingang bis zum Ausgang des FIR-Filters, analoger HP in 18kHz Stellung. Keine Beteiligung des IIR-Filters



signal source: FG: 2Vpp -> CBOX20 -> ASIP. (10Vpp = 67dB RMS; 2Vpp = 85dB RMS)  
red: ASIP-2

Bild 5: Beispiel des Frequenzgangs für ein digitales 50kHz Hochpass- und 300kHz Tiefpass-Filters, je 8. Ordnung (IIR)

Die grundlegendste Neuerung der ASIP-2 ist die Einführung der digitalen Filterung. Im Standardfall ist Hochpass und Tiefpass jeweils von 8. Ordnung, d.h. jedes weist einen Anstieg bzw Abfall von 48dB/Oktave auf. Es werden jeweils vier Filterstufen 2. Ordnung hintereinander geschaltet, wie dies in analoger Technologie üblich ist. Dabei werden die Koeffizienten für die Güte und die Grenzfrequenz in Form von Zahlenwerten eingestellt und nicht wie in analoger Technik durch die Bauteildimensionierung. Somit verhalten sich diese digitalen Filter genauso wie es der Anwender bisher von analogen Filtern gewohnt ist (Butterworth-Charakteristik). Wegen Bauteiltoleranzen weisen analoge Filter Toleranzen in der Grenzfrequenz und Glätte im Durchlassbereich auf. Digitale Filter verhalten sich in jedem Kanal absolut gleich (z.B. Bild 5).

Bei Bedarf können Konfigurationen mit anderer Filtercharakteristik wie z.B. linearer Phase (Bessel-Charakteristik) erzeugt werden.

Da nun das Frequenzfilter nach dem Analog-Digital-Konverter positioniert ist, werden auch Rauschkomponenten der Digitalisierung, je nach ausgewähltem Frequenzbereich, wirkungsvoll reduziert.

Um sehr niedrige Amplitudenwerte und niedrige Frequenzbereiche, z.B. einen Hochpass mit 10kHz Grenzfrequenz bei einer Filter-Samplingrate von 20MHz (entspricht 0,05% der Samplingrate) noch sauber rechnen zu können, verarbeitet jede Filterstufe 2. Ordnung intern eine Dynamik von 38 Bit (entspricht 1 zu 250 Milliarden) und gibt das Ergebnis mit 18 Bit Dynamik an die nächste Stufe weiter.

Da auf diese Weise auch kleinere Schwellwerte als bisher sinnvoll werden, wird der Absolutwert für Schwelle und „Maximalamplitude“ nun mit 16 Bit (früher 15 Bit) verarbeitet.

#### 4.1 FIR -Filter

FIR steht für Finite Impuls Response, womit gemeint ist, dass die Impulsantwort aus einer bestimmten Zahl von Samples ungleich Null besteht. Diese Zahl wird oft „Tabs“ genannt. Nach dem ASIP-2 ADC folgt ein FIR Filter mit 27 Tabs. Das bedeutet, jedes Ausgangssample besteht aus der Summe der letzten 27 Samples, jedes multipliziert mit einem festen Koeffizienten. Die Koeffizienten bestimmen das Verhalten des Filters.

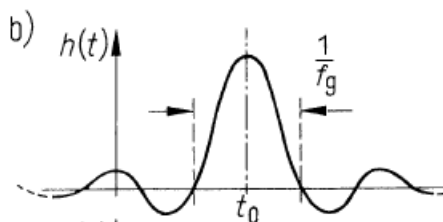


Bild 6: Symmetrische Impulsantwort eines FIR-Tiefpasses [2]

Die Impulsantwort (wenn der Wert 1 durch alle 27 Tabs geschoben wird) würde dann der Koeffiziententabelle entsprechen. Der Ausgang würde 13 Takte lang in einer definierten Funktion anschwingen, mit dem 14. Takt den Maximalwert erreichen, und dann wieder 13 Takte lang, symmetrisch zur Anschwingung, ausschwingen. Bild 6 zeigt die Impulsantwort eines FIR Tiefpasses.

Die wesentlichen Vorteile des FIR Filters sind (im Vergleich mit IIR, unter anderem):

- die konstante Verzögerung vom Eingang zum Ausgang, sie beträgt immer  $\text{Tab}/2$  Takte,
- Es können Grenzfrequenzen bis 50% der Samplingfrequenz realisiert werden.
- Das Filter ist immer stabil, d.h. es kann nie zum Schwingen neigen.

Nachteile des FIR Filters:

- Die Zahl der Tabs sollte mindestens eine Schwingung der Grenzfrequenz enthalten. Ein 10kHz Hochpass bei 20MSPS würde 2000 Tabs erfordern. Dies würde 40 Milliarden Multiplikationen und Additionen pro Sekunde erfordern und wäre heute noch nicht ökonomisch sinnvoll realisierbar.
- Je niedriger die Grenzfrequenz bei gleicher Zahl von Tabs umso schlechter die Selektivität.
- Das Filterverhalten wäre für den AE-Praktiker ungewohnt: Bei einem Filter mit 2000 Tabs würde das Anschwingen zum Maximum 1000 Takte dauern.

#### 4.2 IIR-Filter

IIR steht für Infinite Impulse Response, da die Impulsantwort - zumindest theoretisch - unendlich viele von Null verschiedene Abtastwerte besitzen kann. So ist beispielsweise ein



Feder-Masse System ein IIR Filter 2 Ordnung. Es sind zwei Energiespeicher im System, die Feder speichert statische Energie, die Masse dynamische Energie. Wird das System durch einen Impuls angestoßen, schwingt es in bestimmter Funktion aus. Die Impulsantwort ist nicht symmetrisch.

Wesentliche Vorteile des IIR Filters:

- a) Die Ordnung und die Filtersteilheit bleibt prozentual immer gleich, unabhängig von der Grenzfrequenz. Ein Filter 8. Ordner hat eine Steilheit von  $8 \cdot 6 = 48\text{dB/Oktave}$  (Eine Oktave ist eine Frequenzverdoppelung oder -halbierung.)
- b) Geringere Rechenleistung erforderlich.
- c) Grenzfrequenzen bis 0,01% der Samplingrate möglich.
- d) AE-Experten sind an das Verhalten von IIR Filter gewohnt. Bei Pulsanregung ist ein erheblicher Teil der Pulsenergie sofort am Ausgang (Schwellenüberschreitung). Danach schwingt das Filter gemäß seiner Funktion nach.

Nachteile des IIR Filters:

- a) Lässt sich in hoher Ordnung nur für Grenzfrequenzen bis maximal 8% der Samplingrate realisieren.

## 5. Zusammenfassung:

Der neue Signalprozessor ASIP-2 bietet bei gleicher Kanalzahl halbes Volumen und Gewicht wie das Vorgängermodell, eine vierfach höhere ADC Samplingrate pro Kanal, geringeres Rauschen, die Flexibilität digitaler Filterung, höhere Amplitudenauflösung (daraus resultierend feinere SchwellwertEinstellung insbesondere bei niedrigen Schwellen), bis zu 32-fache Kapazität des Wellenformspeichers, abschaltbare Vorverstärker-versorgungsspannung und hochohmigen AC Eingang, der bei Parallelschaltung mit einem anderen Kanal die Impedanzverhältnisse nicht stört.

Er ist soweit kompatibel mit dem Vormodell, dass er gemeinsam mit dem Vormodell im gleichen Gehäuse arbeiten kann (neue SW erforderlich).

Die digitale Filterung nach dem ADC führt zu nie dagewesenen niedrigen Rauschwerten, z.B.  $45\mu\text{V}_{\text{RMS}}$  oder  $150\mu\text{V}_{\text{P}}$  bezogen auf  $10\text{V}_{\text{SS}}$  Eingangsbereich mit Filter 25-45kHz (Tankbodentest).

## 6. Referenzen:

- [1] EN13477-1 und -2, Europäische Norm, Zerstörungsfreie Prüfung, Schallemissionsprüfung – Gerätecharakterisierung, Teil 1: Gerätebeschreibung, Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen
- [2] Herter E, Lörcher W. „Nachrichtentechnik, Übertragung – Vermittlung – Verarbeitung“ ISBN 3-446-16564-9, S. 183