



Lattice ispPAC – Die programmierbaren Analog-ICs

Mit den „ispPAC“ von Lattice ist die „analoge Welt“ nicht mehr die gleiche. Analoge Baugruppen sind nun programmierbar - und das sogar innerhalb der Schaltung. Auch während des normalen Betriebs sind die Parameter von Verstärkern und Filtern per Software veränderbar. Dieser Artikel verschafft nun einen kleinen Einblick in die faszinierenden Möglichkeiten der neuen revolutionierenden Technik.

Allgemeines

Programmierbare Logikbausteine werden immer komplexer und sind aus der modernen Digitaltechnik nicht mehr wegzudenken. Selbst sehr komplexe Digital-schaltungen können heute bei geringstem Platzbedarf in einem einzigen Chip untergebracht werden. Auch die Umprogrammierung der Logik während des Betriebs ist bei vielen Anwendungen kein Problem und jederzeit vom Steuerprozessor aus möglich.

Modifikationen innerhalb digitaler Systeme erfordern mit programmierbarer

Logik keine Hardwareänderungen mehr, sondern sind einfach per Software in den Chip zu laden. Da sehr viele oder oft sogar alle Baugruppen in einem einzigen IC untergebracht sind, ist der Schaltungsaufbau unkompliziert und in der Regel weit weniger störanfällig als die konventionelle Schaltungstechnik.

Auch wenn heute in nahezu jedem elektronischen Gerät die Funktionsabläufe von einem Mikroprozessor gesteuert werden, kommt man in den meisten Fällen um zusätzliche analoge Baugruppen und Schaltungskomponenten nicht herum. Insbesondere dann, wenn die Abfrage von verschiedenen Sensoren erforderlich ist oder eine

Signalverarbeitung (z. B. Verstärkung oder Filterung) erfolgt.

Die Entwicklung von analogen Schaltungsstufen ist oft schwierig und mit erheblichem Aufwand verbunden. Bei Schaltungsmodifikationen kommt man in der Regel um zeitaufwändige Layout-Änderungen nicht herum.

Lattice, einer der größten Hersteller von programmierbaren Logik-Bausteinen, revolutioniert nun den analogen Schaltungsentwurf. Mit den PAC-Bausteinen (programmable analog circuits) bietet Lattice weltweit als erster Hersteller in der Anwendung veränderbare Analog-Bausteine. Damit beginnt auch bei analogen Schaltungs-Designs eine neue Ära in der Flexibilität.

Zur Zeit sind drei unterschiedliche isp- (in circuit programmable) Analog-ICs von Lattice am Markt, die durch eine komfortable, auf Windows basierende PC-Software unterstützt werden.

Im Wesentlichen bestehen die ICs aus differenziellen Instrumenten- und Operationsverstärkern mit den zugehörigen, programmierbaren externen Komponenten, die über den intern vorhandenen „Analog-Routing Pool“ verbunden werden können. Im Zusammenhang mit der PAC Designer-Software sind dann relativ komplexe Analo-gschaltungen schnell und einfach realisierbar.

Bei allen Bausteinen sind eine interne 2,5-V-Spannungsreferenz mit $\pm 0,2\%$ Genauigkeit und eine automatische Offset-Kalibrierung für die einzelnen Operationsverstärker vorhanden.

Die Einsatzmöglichkeiten der neuen Bausteine sind vielfältig, wobei sicherlich nicht der Ersatz von einfachen Low-Cost-Verstärkerschaltungen sinnvoll ist. Der Einsatz bietet sich vielmehr dort an, wo Flexibilität gefragt ist oder die Vorteile der Umprogrammierbarkeit während des Betriebs genutzt werden können. Ein weiteres Kriterium für den Einsatz ist der geringe Platzbedarf, da in der Regel keine externe Beschaltung mehr erforderlich ist.

Verschaffen wir uns nun einen ersten Überblick über die derzeit zur Verfügung stehenden Bausteine:

Da ist zuerst der ispPAC 10 zu nennen, der aus vier identischen PAC-Schaltungsblöcken (programmable analog circuits) besteht und vorzugsweise als Summierer und/oder Integrator konfiguriert werden kann. Die funktionellen Zusammenhänge dieses Bausteins sind im Blockdiagramm Abbildung 1 dargestellt.

Der Gesamt-Verstärkungs-Bereich dieses Bausteins ist per Software von 0 bis 160.000fach einstellbar. Fertige Makros in einer Bibliothek der Windows-PAC-Designer-Software ermöglichen einfach per Mausclick die Realisierung von Filtern

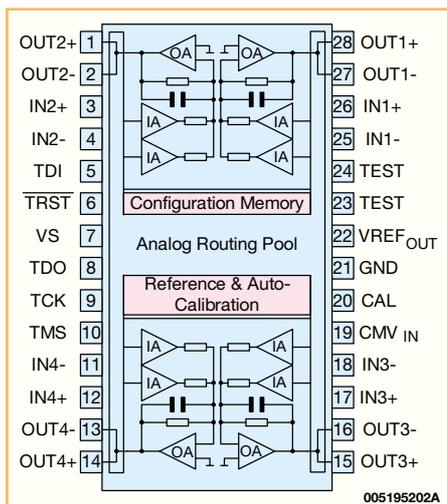


Bild 1: Blockdiagramm des ispPAC 10

zweiter, dritter oder vierter Ordnung in einem Frequenzbereich von 10 kHz bis 100 kHz.

Der zweite Baustein im Bunde ist der ispPAC 20, dessen grobe interne Struktur in Abbildung 2 zu sehen ist. Neben zwei identischen Schaltungsblöcken (wie beim ispPAC 10) ist der ispPAC 20 mit zwei Komparatoren und einem Digital/Analog-Konverter ausgestattet. Daher ist dieser Baustein auch besonders gut für Konvertierungs- und Überwachungsaufgaben einzusetzen.

Auf Grund der differentiellen Architektur besteht (wie auch bei den anderen Baustein-Varianten) eine hohe Übersprechdämpfung von > 90 dB zwischen den Kanälen.

Ein weiterer Baustein ist der ispPAC 80, der die Implementation von unterschiedlichen Filtern bis zur fünften Ordnung ohne externe Komponenten ermöglicht. Der ganz speziell auf das Filter-Design ausgerichtete ispPAC 80 erlaubt praktisch jede Filtercharakteristik bis in einen Frequenzbereich von 500 kHz. Auch hier wird die Konfiguration durch eine einfache Software mit entsprechenden Makros unterstützt.

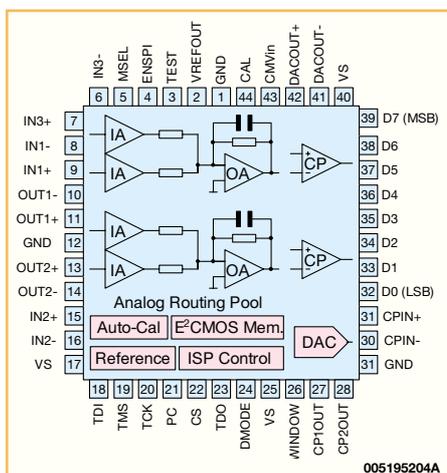


Bild 2: Interne Struktur des ispPAC 20

Eines der schwierigsten Felder im Bereich der Analog-Entwicklung beschränkt sich damit auf wenige Mausklicks. Der interne Aufbau des ispPAC 80 ist in Abbildung 3 vereinfacht dargestellt.

Über die ispPAC-Designer-Software lassen sich vorgefertigte Filter auszuwählen, wobei eine Vielzahl von Filtertypen, wie z. B. Butterworth, Tschebyscheff, Elyptisch, Gauss und lineare Tiefpässe zur Verfügung stehen.

Die Funktion kann sofort mit der Software simuliert werden und über ein Kabel erfolgt dann direkt vom PC aus die Übertragung in den ispPAC-80-Baustein. Bei einer Schaltungsoptimierung und Veränderung der Filtercharakteristik kann dieser Vorgang beliebig oft wiederholt werden.

Mit diskreten Bauteilen hingegen ist die Konstruktion von Filtern fünfter Ordnung mit konstanter Durchlaufzeit nur mit hohem Schaltungsaufwand und zeitraubenden Berechnungen möglich. Hinzu kommt, dass für exakte Filterergebnisse eng tolerierte, passive Bauteile, wie z. B. Präzisionswiderstände erforderlich sind. Genaue Widerstände und Kondensatoren sind wiederum teuer.

Durch implementierte Kapazitäts- und Widerstands-Arrays wird eine Genauigkeit erreicht, die mit einem diskreten Aufbau in der Regel nicht möglich ist.

Sieben chipinterne Kondensatoren werden aus ca. 3000 individuellen Einzelkapazitäten zusammengestellt. Für die konstruierten Filter bedeutet dies im Frequenzbereich von 50 kHz bis 500 kHz eine maximale Abweichung von 3,5%. Die typische Genauigkeit ist meistens sogar besser als 1%.

Zur Filtereinstellung über die ispPAC-Designer-Software stehen für den Anwender 70 Bit zur Verfügung. Ein internes Abgleich-Array von Trimm-Kapazitäten ermöglicht die hohe Genauigkeit der integrierten Kondensatoren. Die Daten werden dann bei der Fertigung des Bausteins in ein internes EEPROM gespeichert.

Bei allen ispPAC-Bausteinvarianten werden die Eigenschaften der Schaltung durch Programmier-Bits festgelegt, die in einem nichtflüchtigen EEPROM gespeichert werden und somit auch bei einem Spannungsausfall erhalten bleiben.

Mit Hilfe der komfortablen Software mit grafischer Eingabe ist der Schaltungsentwurf auch für unerfahrene Analog-Entwickler kein Problem und Schaltungsmodifikationen können ohne Hardwareänderung erfolgen. Darüber hinaus entsteht ein erheblicher Zeitgewinn beim Schaltungsentwurf, da vorgefertigte Makros die Entwicklung erheblich unterstützen.

Aus logistischer Sicht ist nur noch ein einziges IC zu bevorraten anstatt vieler unterschiedlicher diskreter Bauteile.

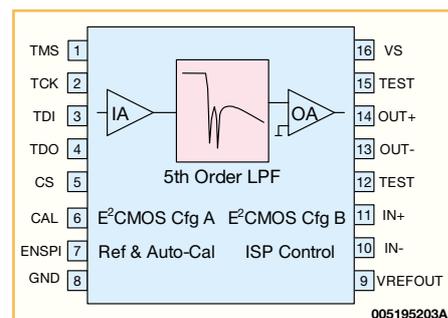


Bild 3: Blockschaltbild des speziell auf das Filter-Design ausgerichteten ispPAC 80

Betrachten wir nun die ispPAC-Architektur, die im Wesentlichen aus einer Kombination von mehreren Grundstrukturen besteht. Jeder ispPAC-Baustein beinhaltet dabei mehrere sogenannte „PACells“, wie Instrumentenverstärker, Summierer, Komparatoren, Kondensatorblöcke, Ausgangsverstärker usw., bei denen die Eigenschaften über die Software programmierbar sind. Weitere chipinterne Grundstrukturen sind die Referenz-Spannungsquelle, das EEPROM, die automatische Kalibrierfunktion und die ISP-Controll-Einheit.

Über das so genannte „Analog-Routing-Pool“ (ARP) werden die Verbindungen zwischen den verschiedenen Grundstrukturen programmiert. Sämtliche Ein- und Ausgänge werden dabei über CMOS-Schalter an die entsprechenden IC-Pins geführt. Dabei besteht auch die Möglichkeit, Eingangssignale gleichzeitig an mehrere Analog-Module zu führen.

Des Weiteren sind interne Signalkopplungen möglich, so dass dadurch keine Ein- und Ausgangspins verloren gehen. Abbildung 4 zeigt die Chip-Hierarchie am Beispiel des ispPAC 10.

Die Signalqualität ist völlig unabhängig vom gewählten Signalpfad innerhalb des Bausteins, da alle Signalleitungen vollständig differentiell ausgelegt sind. Der Entwickler hat daher nicht wie bei einem diskreten Aufbau mit Übersprechen und Schwingneigungen zu kämpfen.

Auch die technischen Daten der integrierten Verstärkerstufen dürfen sich sehen lassen. So beträgt die Eingangsimpedanz auf Grund der verwendeten CMOS-Technologie $10^9 \Omega$ und die Ausgänge können jeweils 10 mA treiben bzw. aufnehmen. Die differentielle Eingangs-Offset-Spannung ist beim ispPAC 10 bei einer Verstärkung von 10 mit maximal 100 mV angeben. Die Eingangskapazität beträgt typisch 2 pF, und alle ispPAC-Bausteinvarianten sind für eine Versorgungsspannung von 5 V konzipiert.

Der Eingangsspannungsbereich ist mit 1 V bis 4 V angegeben und der maximal mögliche Ausgangsspannungsbereich liegt zwischen 0,1 V und 4,9 V. Der Klirrt

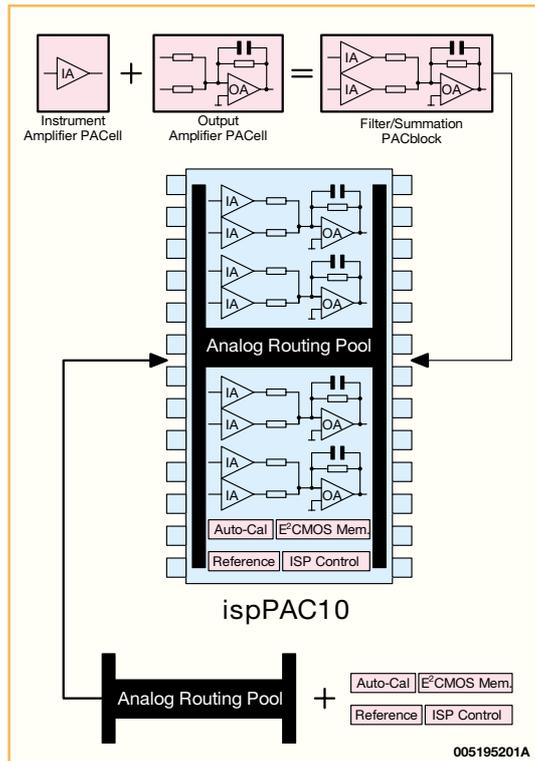


Bild 4: Die Chip-Hierarchie (hier ispPAC 10)

faktor ist mit typisch 0,003% spezifiziert und Lattice gibt den Signal-Rauschabstand mit typisch 83 dB (bei einem Verstärkungsfaktor von 1 bis 10) an.

PAC-Designer-Software

Damit die gewünschten Funktionen wie z. B. ein Tiefpassfilter in den Baustein implementiert werden können, stellt Lattice eine spezielle PAC-Designer-Software zur Verfügung, mit der auch eine Schaltungssimulation möglich ist. Die Software läuft unter Windows 95/98 und Windows NT. Vorgefertigte Schaltungsmakros sind entsprechend den individuellen Wünschen veränderbar und vereinfachen somit den Schaltungsentwurf.

Aufgrund der besonderen Struktur werden alle Verbindungen innerhalb der Bausteine per Software erstellt. Die Pin-Belegung des ICs ist dabei in einem weiten

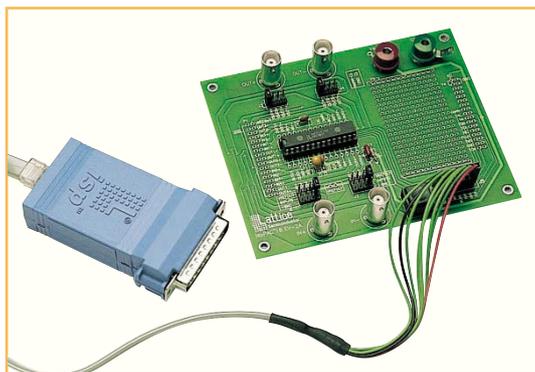
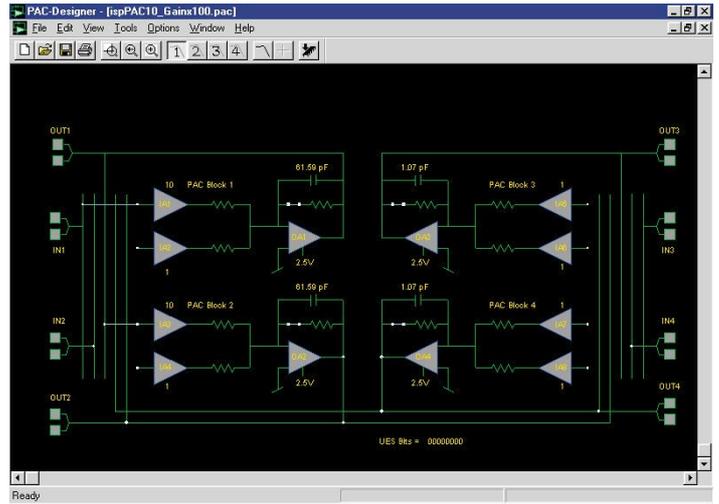


Bild 5: isp-Download-Kabel zum Anschluss an den Parallelport eines PCs

Bild 6: Hauptfenster des ispPAC 10



Rahmen frei definierbar. Die Software lässt ausschließlich erlaubte Verbindungen zu.

Zur Simulation eines kompletten Filters bedarf es nur eines einzigen Filters. Auf dem Bildschirm werden dann der Amplituden- und Phasenverlauf dargestellt.

Über ein am Druckerport des PCs anzuschließendes „isp-Download“-Kabel (Abbildung 5) werden die von der Software generierten Daten in das IC geladen. Die Daten bleiben dann im integrierten EEPROM permanent gespeichert.

Im Falle einer Schaltungsmodifikation wird das EEPROM mit den programmierten IC-Eigenschaften einfach überschrieben. Laut Datenblatt des Herstellers kann das Löschen und Neuprogrammieren des EEPROM mindestens 10.000 Mal erfolgen. Die typische Zyklenzahl liegt sogar bei 1 Million.

Kommen wir nun zum Aufbau der einfach zu bedienenden PAC-Designer-Software. Nach Aufruf der Software sind über das Pull-Down-Menü „File“ die verschiedenen noch nicht programmierten PAC-Bausteine oder bereits erstellte Applikationen bzw. vorgefertigte Makros aufzurufen.

Auf dem Bildschirm wird dann der Inhalt des ispPAC-Bausteins in Form eines Blockschaltbildes dargestellt, wie Abbildung 6 am Beispiel eines ispPAC 10 zeigt.

Über das PAC-Designer-Schaltungs-Fenster können nun alle vom Benutzer konfigurierbaren ispPAC-10-Elemente direkt erreicht werden, wobei das auf grafischer Basis arbeitende Benutzer-Interface sehr komfortabel ist.

Die nicht konfigurierbaren Anschlusspins, wie die Versorgungsspannung, die Referenzspannung, das digitale Interface und die Schaltungsmasse werden dabei nicht angezeigt. Zum Verändern der ein-

zelnen Elemente in der Grafik kann der Aufruf entweder mit einem Mausklick auf das Symbol oder über Menü-Kommandos erfolgen.

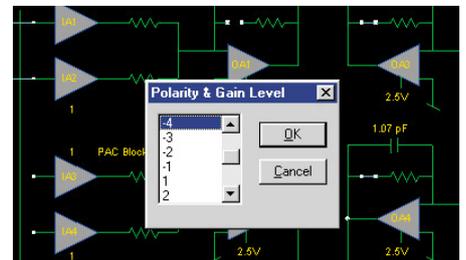


Bild 7: Dialogfenster zur Auswahl des Verstärkungsfaktors

Der ispPAC 10 verfügt z. B. über vier Differenzeingänge, die in der Grafik mit N 1, N 2, N 3 und N 4 bezeichnet sind. Jeder Eingang besitzt somit zwei Anschlusspins (N 1+ und N 1-). Das gleiche gilt auch für



Bild 8: Auswahl des Bezugspotenzials (U_{Ref} oder extern)

die vier Ausgänge dieses Bausteins. Die Ausgangssignale an den Differenz-Ausgangspins beziehen sich auf die Referenzspannung und haben grundsätzlich entge-

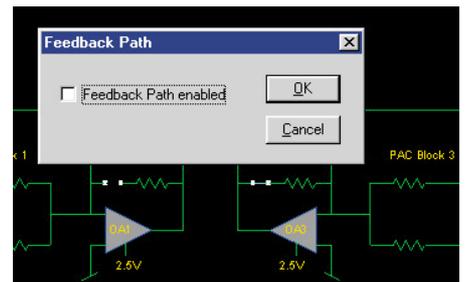
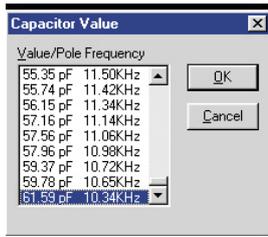


Bild 9: Der optional zu aktivierende Rückkopplungswiderstand bestimmt, ob die Stufe als Verstärker oder Integrator arbeitet.

Bild 10:
Auswahl der Kapazität im Rückkopplungs-zweig des gewünschten Verstärkers



gegengesetzte Vorzeichen. Wird nur ein Ausgangspin benötigt, so kann der nicht benutzte Ausgang unbeschaltet bleiben.

Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, verfügt jeder PAC-Block des ispPAC 10 über zwei

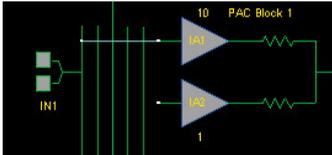
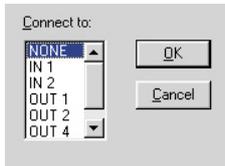


Bild 11: Verbindung der Instrumenten-Verstärkereingänge mit den Ein- und Ausgangsleitungen mit der Maus

Bild 12:
Dialogfenster zur Verbindung eines Verstärker-Eingangs



Eingangs-Instrumentenverstärker. Sowohl die Polarität als auch die Verstärkung jedes einzelnen Instrumentenverstärkers kann per Software verändert werden. Mit einem Doppelklick auf das Verstärkersymbol öff-

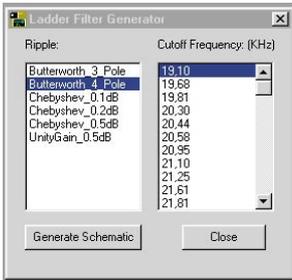


Bild 13:
Fertige Makros zur Auswahl der gewünschten Filter-Charakteristik

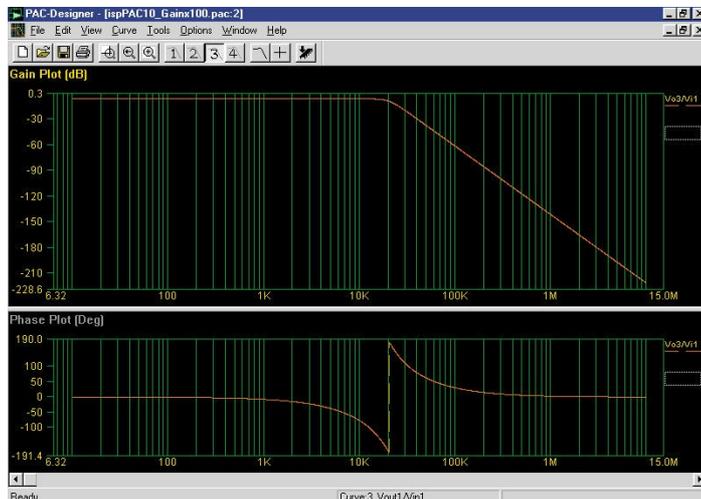


Bild 14: Simulierter Amplituden- und Phasenverlauf eines 20-kHz-Filters

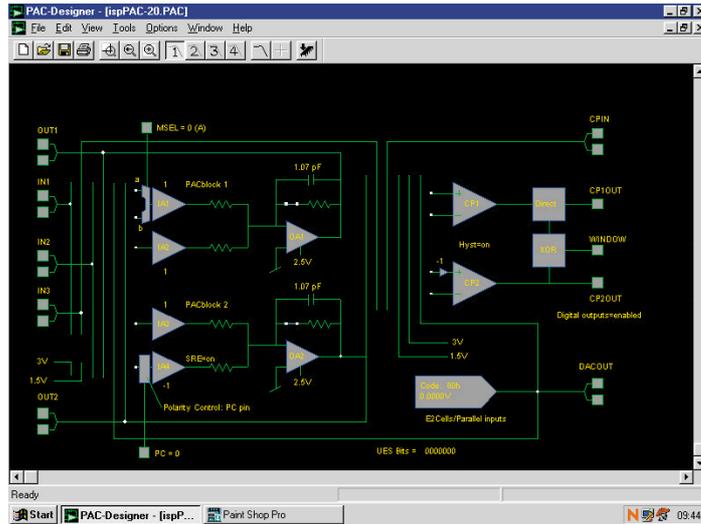


Bild 15:
Hauptfenster des ispPAC 20

net sich dann das in Abbildung 7 dargestellte Dialogfenster zur Auswahl des Verstärkungsfaktors. In jedem PAC-Block sind dann 20 verschiedene Verstärkungsfaktoren einstellbar.

Die PAC-Block-Ausgänge sind jeweils hardwaremäßig mit einem Ausgangspinpaar verbunden. Als Spannungsbezug für den Ausgangsverstärker kann die interne 2,5-V-Referenzspannung oder eine an „CMV“ anzulegende Spannung von 1,25 V bis 3,25 V dienen. Die Auswahl ist einfach mit einem Doppelklick auf den Referenzspannungs-Anschluss des Verstärkersymbols vorzunehmen. Daraufhin öffnet sich das Dialogfenster in Abbildung 8.

Ein optional zu aktivierender Rückkopplungswiderstand bestimmt, ob der PAC-Ausgangsblock als Verstärker oder als Integrator arbeitet (Abbildung 9).

Zur Auswahl der gewünschten Kapazität im Rückkopplungszweig ist ein Doppelklick auf das Kondensatorsymbol im Ausgangs-PAC-Block erforderlich. In dem sich daraufhin sich öffnenden Dialogfenster (Abbildung 10) zur Auswahl der gewünschten Kapazität wird gleich die Grenz-

frequenz des Verstärkers mit angezeigt.

Die Verbindung der Instrumentenverstärker-Eingänge mit den gewünschten Ein- und Ausgängen erfolgt einfach per „Drag-and-Drop“ (Abbildung 11) mit der Maus. Alternativ kann zur Auswahl auch mit einem Doppelklick auf den anzuschließenden Eingangspin das in Abbildung 12 dargestellte Dialogfenster geöffnet werden.

Wie bereits erwähnt, stehen auch fertige Filter als Makros zur Verfügung, die unter dem Menü „Tools“ aufzurufen sind. Nach Auswahl der gewünschten Charakteristik (Abbildung 13) wird die Schaltung automatisch generiert. Die Funktion der vollständig generierten Schaltung kann direkt mit der Software simuliert werden. Dazu ist nur ein einziger Mausklick erforderlich. Auf dem Bildschirm werden dann der Amplituden- und Phasenverlauf dargestellt, wie am Beispiel eines 20-kHz-Filters in Abbildung 14 zu sehen ist.

Die Konfigurierung der Bausteine des ispPAC 20 und ispPAC 80 erfolgt in der gleichen Weise. Abbildung 15 und 16 zeigen dazu die entsprechenden Bedienoberflächen. **ELV**

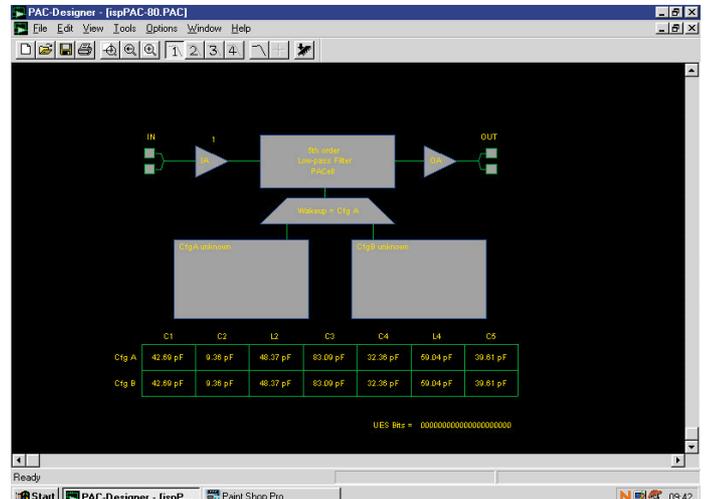


Bild 16: Hauptfenster des ispPAC 80