

PSpice – Der Schaltungssimulator in OrCAD

Von Daniel Gühne und Andreas Krutz

Allgemein:

PSpice erlaubt die komplexe Simulation eines elektrischen Schaltplans nach diversen Kriterien wie Temperatur, Toleranzen von Bauteilen oder dem Frequenzgang.

Prinzipielle Arbeitsweise von PSpice:

Basierend auf einem gezeichneten Schaltplan, zerlegt PSpice diesen in Netze. Jedes Netz ist eindeutig und enthält Verweise zu allen Bauteilen mit entsprechender Pin-Nummer, die an dieses Netz angeschlossen sind. Jedes Bauteil benötigt ein auf seinem Typ basierendes Simulationsmodell. Dieses Simulationsmodell (.INC-Dateien) bildet das jeweilige Bauteil in seinem elektrischen Verhalten mathematisch ab. Aus diesen Dateien und dem Simulationsprofil erstellt PSpice einen simulationsfähiges Modell und simuliert dieses. Dabei wird die Simulation z.B. für verschiedene Temperaturen oder globale Parameter teilweise mehrfach wiederholt. Die elektrische Simulation basiert auf den Prinzipien der Netzwerkanalyse, wobei PSpice diese quantisiert und mit einstellbarer Genauigkeit analysiert.

Grenzen der Simulation:

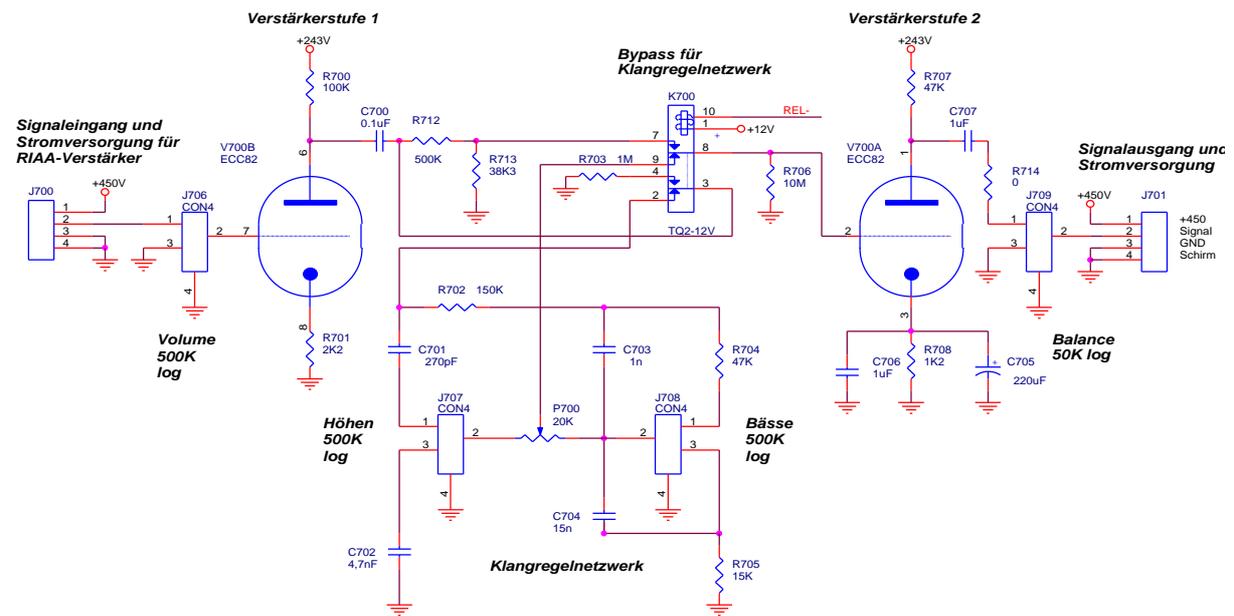
PSpice simuliert nur den vorgegebenen Schaltplan. Real auftretende Effekte wie Übersprechen, Rauschen, Leitungswiderstände, Störstrahlungen von Transformatoren oder hochfrequente Einkoppelungen durch Schaltvorgänge werden von PSpice nicht berücksichtigt, außer diese sind elektrisch als Schaltung im Schaltplan vom Entwickler vorgesehen. Weiterhin steigt und fällt das Simulationsergebnis mit der Qualität der eingesetzten Simulationsmodelle. Auch ist ein extrem großer Schaltplan von PSpice nur unter extrem großem zeitlichen Aufwand zu simulieren, wobei dieses durch steigende Rechnerkapazitäten immer weiter in den Hintergrund rückt.

Vorbereitung eines Schaltplans zur Simulation mit PSpice:

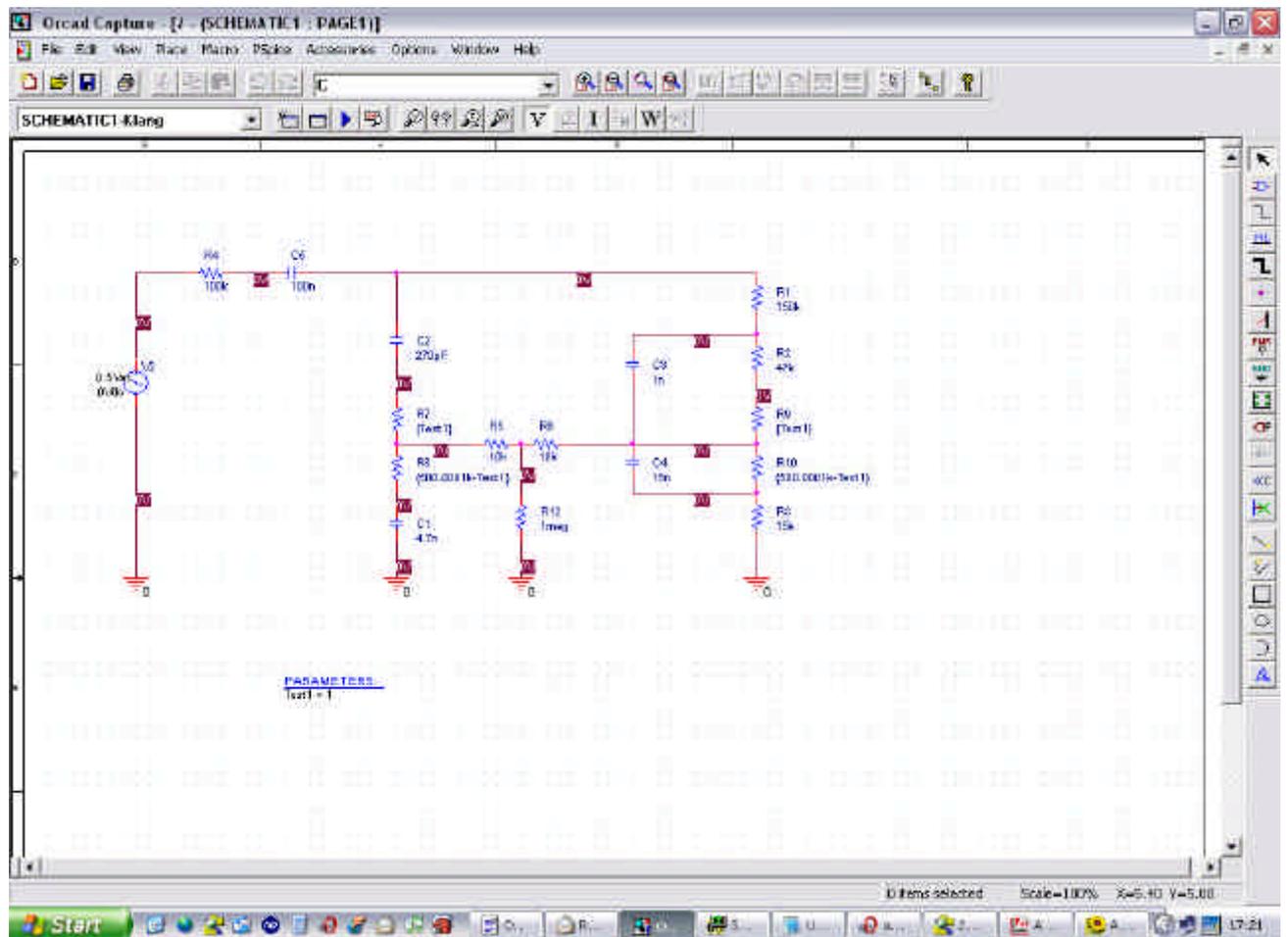
Um einen Schaltplan simulieren zu können, sollte ein Simulationsprojekt des Typs „Analog or Mixed-Signal Circuit Wizard“ erstellt werden. In dieses Projekt sollte der zu simulierende Schaltplan gezeichnet/kopiert werden. Es muss ein Netz mit dem Namen „0“ existieren, welches automatisch das Bezugspotential von PSpice ist. Dazu benutzt man am besten das dafür vorgesehene Masse-Symbol von OrCAD-Capture. Weiterhin muss mindestens eine Signalquelle vorhanden sein. (Siehe SOURCE.OLB)

Weiterhin ist eine gewisse Abstraktion der Schaltung notwendig und hilfreich. Dazu gehört in manchen Fällen, Schaltungsteile durch sie in ihren wesentlichen Eigenschaften abbildende Strom- und Spannungsquellen oder Funktionsblöcke wie Multiplizierer oder Addierer zu ersetzen und alle für die Simulation nicht unbedingt notwendige Teile wegzulassen. Eventuell müssen parasitäre Effekte, wie etwa der Innenwiderstand von Kondensatoren, in Form von zusätzlichen Bauelementen oder Quellen dem Schaltplan hinzugefügt werden.

Beispiel für Klangregelnetzwerk der Line-Stufe:

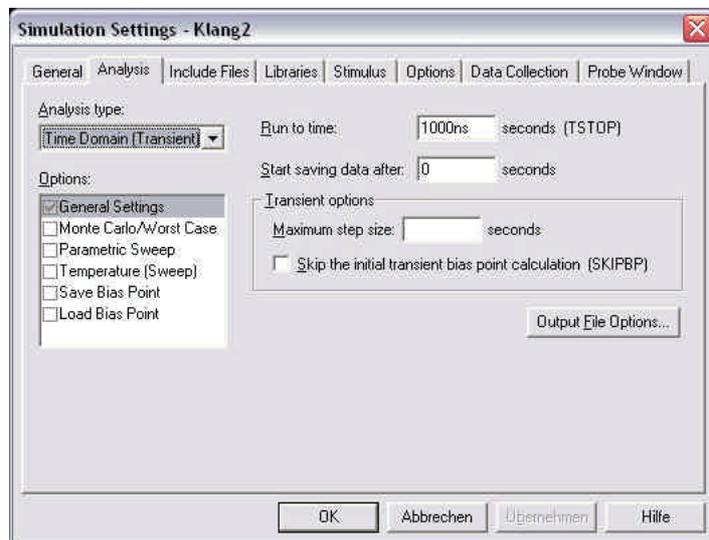


Aus diesem Schaltplan der Line- und Klangregelstufe wird unter hinzufügen der Potentiometer als parameterisierte Bauelemente und ersetzen der Röhren durch einen Widerstand(Eingangswiderstand R12) bzw. durch eine Spannungsquelle(V2) sowie durch Weglassen des Klangregel-Bypass:



Erstellung eines Simulationsprofils:

Nachdem wir nun einen simulationsfähigen Schaltplan haben, müssen wir noch ein Simulationsprofil erstellen. Dazu bedienen wir uns des Dialogs in der Menüleiste PSPice->New Simulation Profil. In der darauffolgenden Dialog Box geben wir dem Simulationsprofil einen Namen und geben an, das es sich um ein leeres, nicht auf einem anderen Simulationsprofil basierendes handelt. Dann finden wir uns in folgendem Dialog wieder:



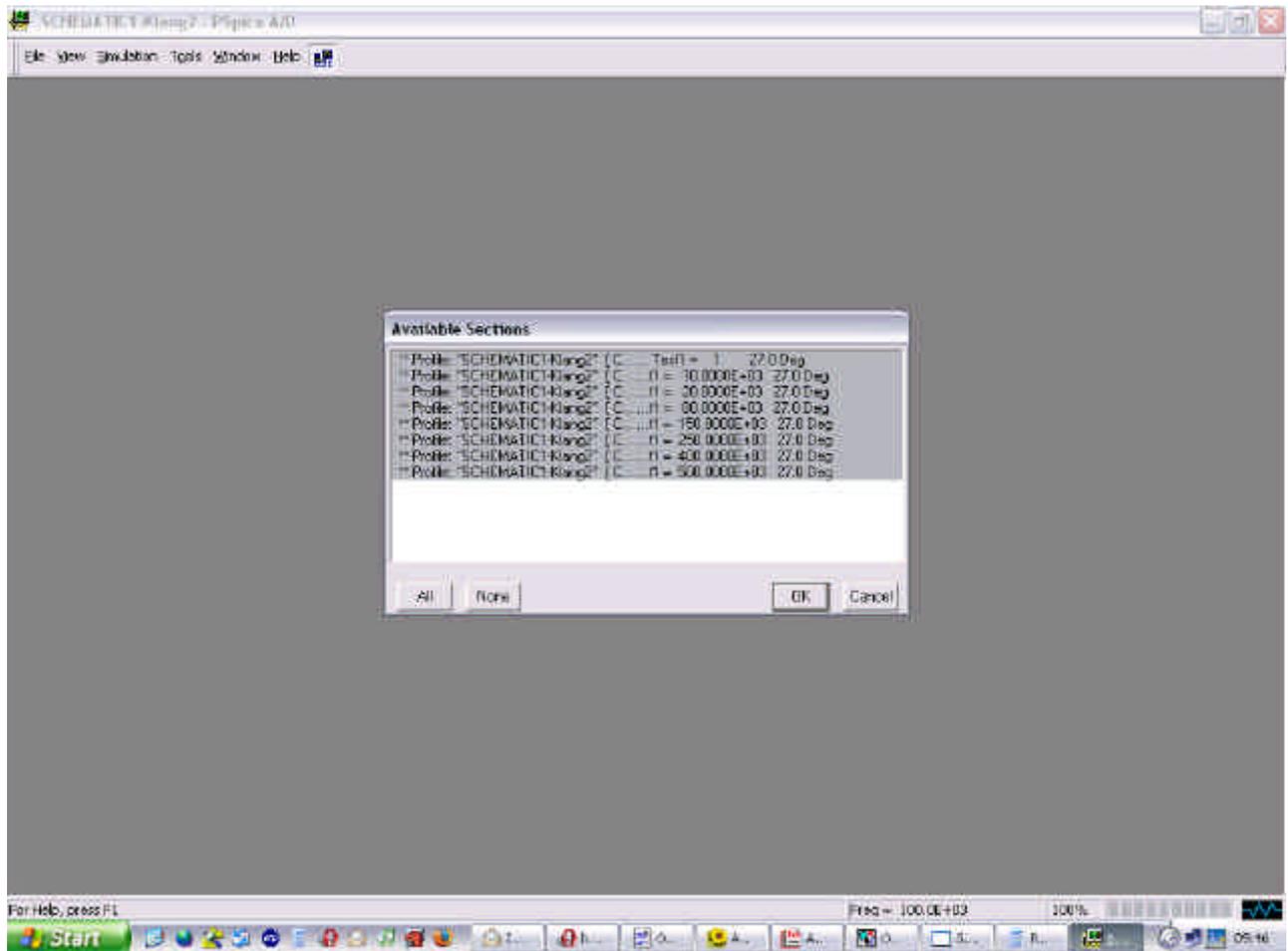
Dort ist die Wahl der Analyse von entscheidender Bedeutung. Folgende Analyse-Arten kennt PSPice:

- ? Time Domain: zeitliche Simulation einer Schaltung, z.B. einen Einschaltvorgang mit der dynamischen Reaktion des Systems oder Verhalten eines Reglers
- ? DC Sweep: Analyse eines statischen Systems für verschiedene Gleichspannungswerte einer Quelle, z.B. um die Schaltung an Betriebsgrenzen der Spannungsversorgung zu testen. Die Quelle kann z.B. vom Typ VDC aus der Standard-Bibliothek SOURCE.OLB sein.
- ? AC Sweep: Analyse eines statischen Systems für verschiedene Frequenzen einer Quelle, um z.B. das Frequenzübertragungsverhalten der Schaltung zu testen. Die Quelle kann z.B. vom Typ VAC aus der Standard-Bibliothek SOURCE.OLB sein.
- ? Bias Point: Analyse eines statischen Systems für verschiedene Arbeitspunkte. Dies kann z.B. zur Analyse der Schaltung für verschiedene Temperaturen wichtig sein.
- ? Parametric Sweep: Analyse der Schaltung bezüglich eines Bauteil-Parameters

Die Analysen lassen sich teilweise kombinieren. Es ist z.B. möglich eine AC-Analyse durchzuführen und dabei das Verhalten bei verschiedenen Temperaturen (Bias-Point!) zu analysieren. Dazu blendet PSPice unterhalb der Analyse-Typ-Auswahlbox eine Box mit den zu Verfügung stehenden Optionen ein.

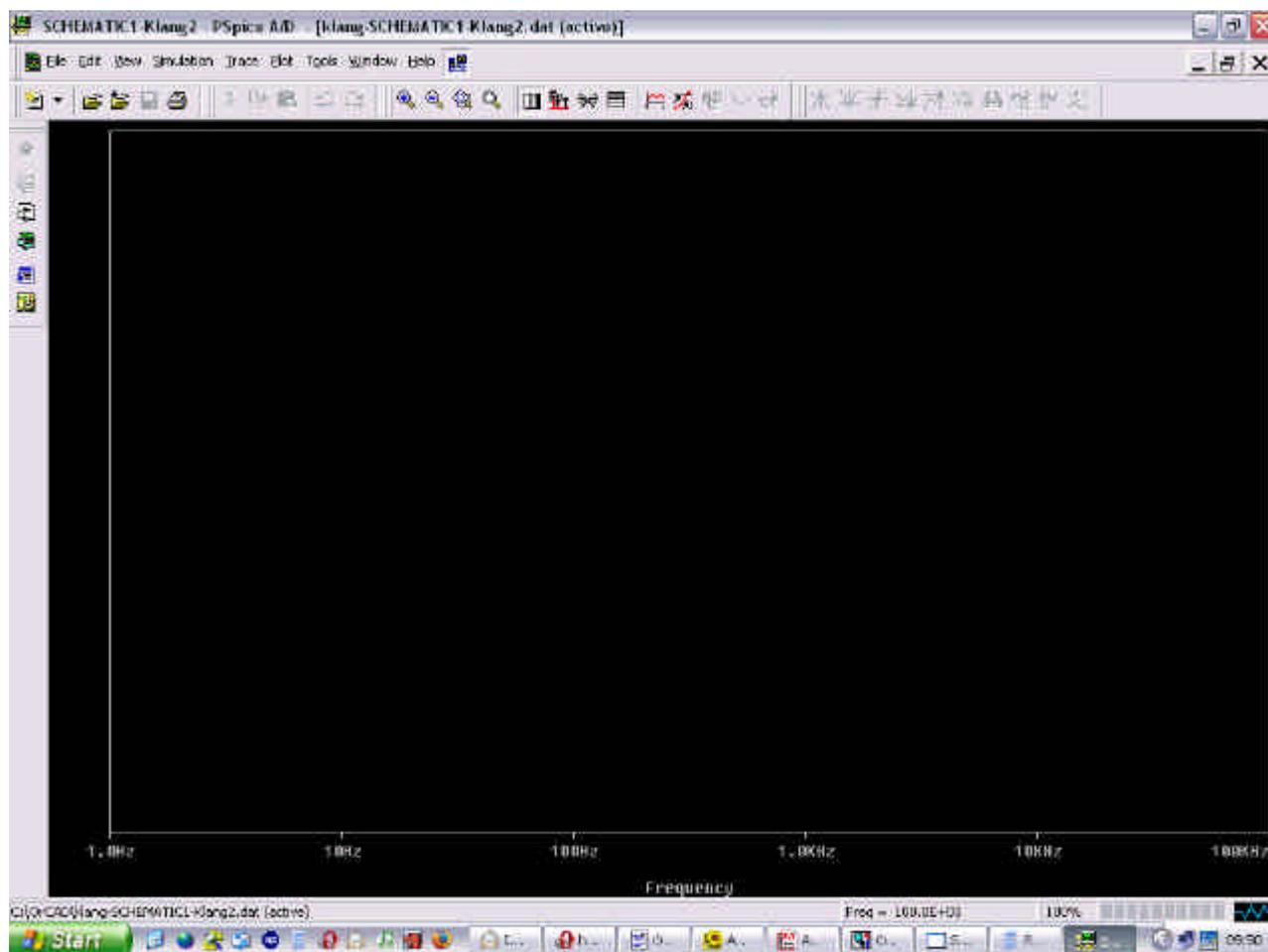
Durchführen der Analyse:

Um oben gezeigtes Klangregelnetzwerk bezüglich seines Übertragungsverhaltens zu analysieren, haben wir eine AC-Sweep Analyse mit gleichzeitiger Parametric-Sweep Analyse durchgeführt. Die simulierte Frequenz lag dabei zwischen 1 Hz und 100 kHz, wobei die Analyse logarithmisch durchgeführt und 100 Punkte/Dekade ermittelt wurden. Der zu verändernde Bauteilparameter war die Einstellung der Potentiometer. Dieser hatte 8 fest vorgegebene Werte zwischen 10 und 500kΩ. Die Simulation startet durch einen Aufrufen des Punktes „Pspice“-> „Run“ in der Menüleiste. Nach ein paar Sekunden der Simulation findet man bei erfolgreicher Simulation so einen Bildschirm vor:



Hier kann man die Anzeige der Simulationsdaten auf ausgewählte Durchläufe (je Bauteilparameter ein AC-Sweep Durchlauf) beschränken.

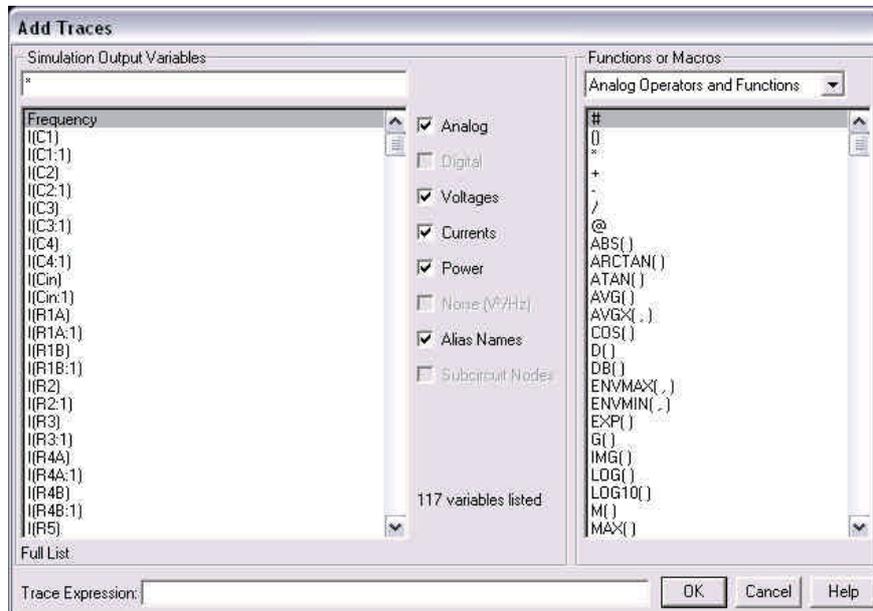
Nun finden wir folgenden Bildschirm vor:



Anzeige und Vormatierung der Datenreihen:

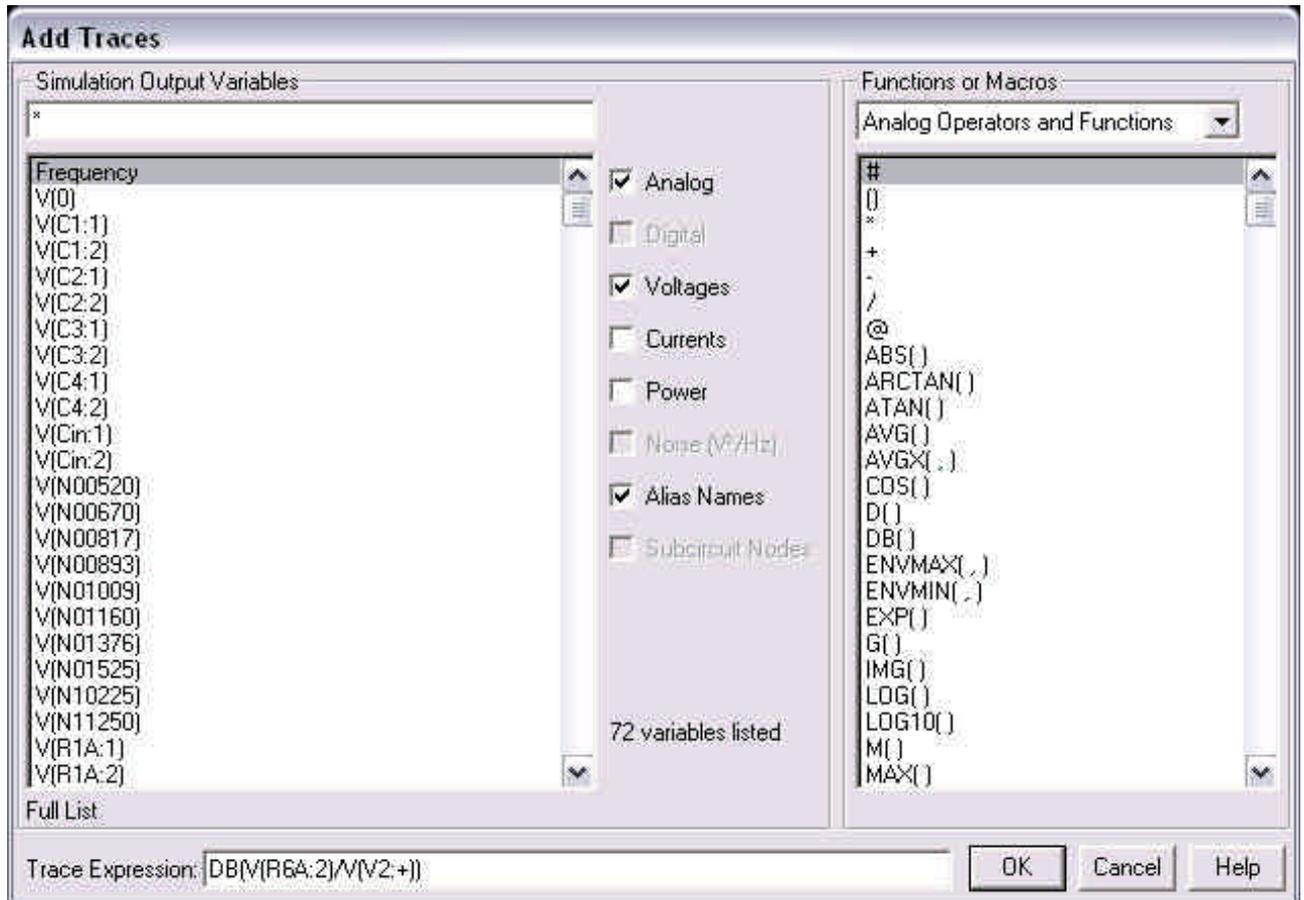
Nun müssen wir den „Add Trace“ Dialog aufrufen, um PSpice mitzuteilen, welche Daten (Strom/Spannung an Widerstand X) wir auf welche Weise (in dB, Phase etc.) dargestellt haben wollen. Dies erfolgt über das Menu oder den Toolbar-Button 

Daraufhin sehen wir folgenden Dialog:

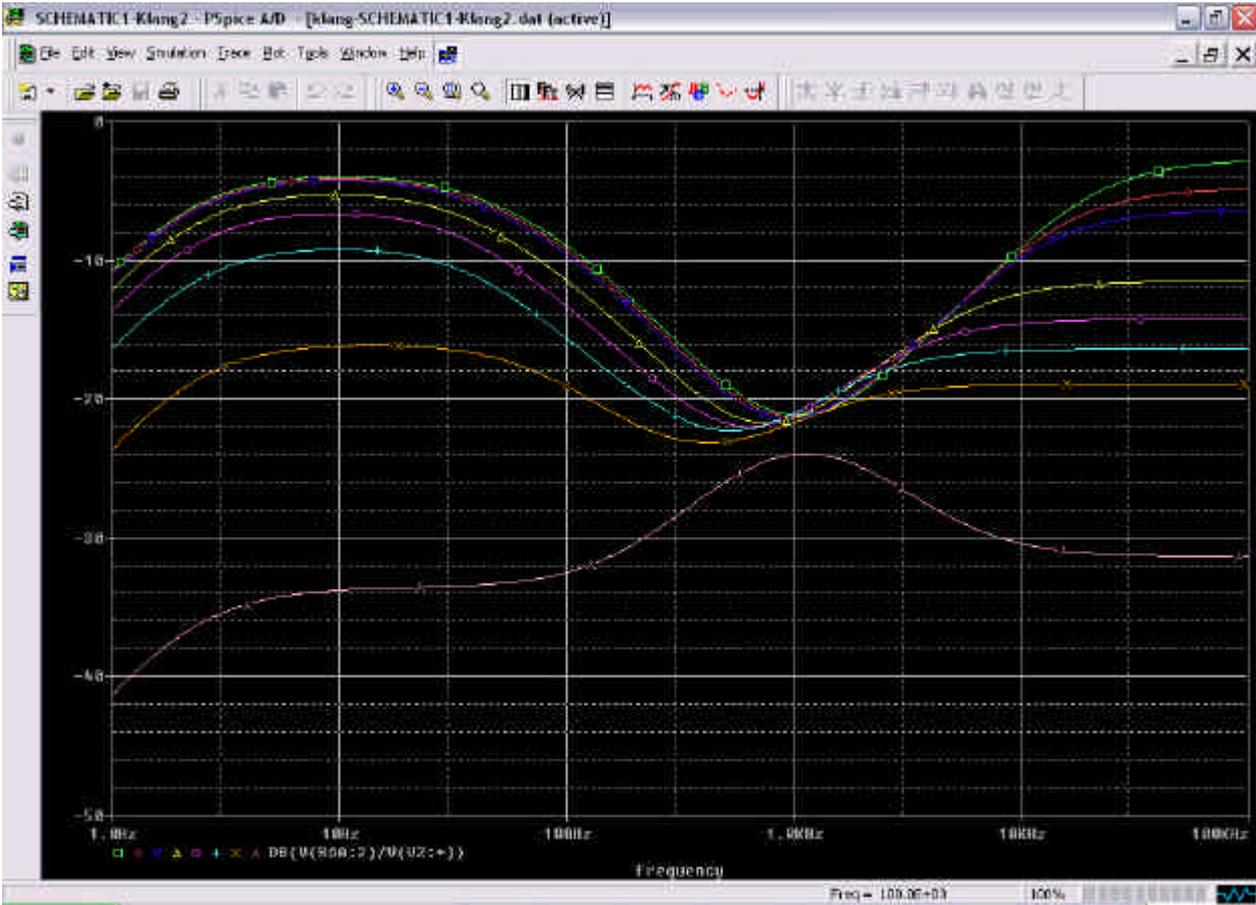


Unter „Simulation Output Variables“ befinden sich Symbole für verschiedene Messpunkte. Diese sind sortiert nach ihrer elektrischen Größe (I für Strom, V für Spannung, W für Leistung). Danach folgt in Klammer die Referenz, z.B. R2:1 steht für Bauelement R2, Pin 2. Diese Meßstellen lassen sich per einfachen Mausklick in den Trace übernehmen und tauchen dann unter „Trace Expression“ auf. Ein Klick auf „OK“ und der Trace wird im Diagramm erzeugt. Um die Liste übersichtlicher zu machen, kann man durch entfernen der Häkchen in der Mitte des Dialogfeldes einzelne Größen ausblenden. Weiterhin sind mathematische Operationen mit den Messwerten möglich, welche über die auf der rechten Seite befindliche Scroll-Box ausgewählt werden können.

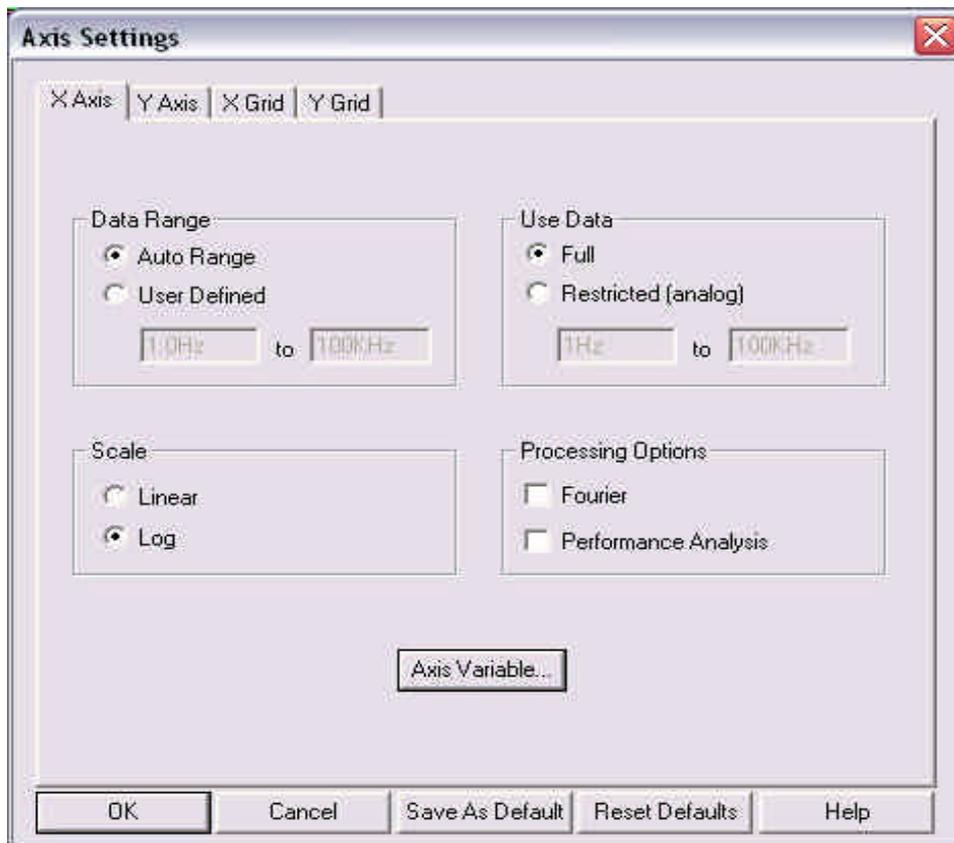
Wir wollen den Betragsgang der Ausgangsspannung(Widerstand R6A, Pin2) zur Eingangsspannung (Quelle V2, + Pin) darstellen.



Damit stellt PSpice die Daten wie folgt dar:

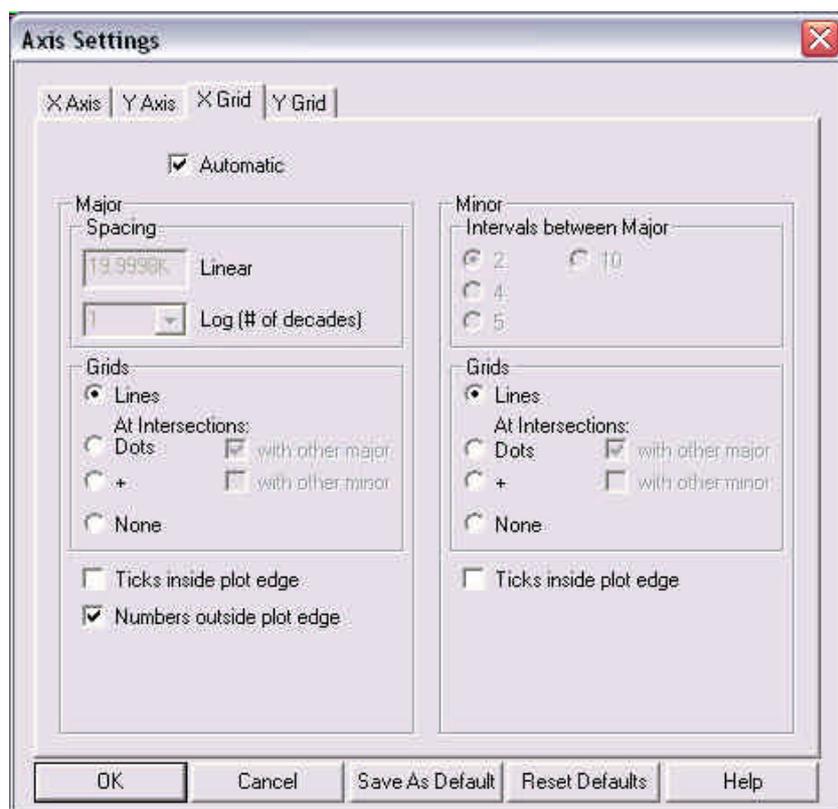


Jetzt können wir die Einstellung der x- und y-Achse bezüglich Einteilung und Darstellung nach unseren Vorstellungen verändern. Dazu ruft man in der Menüleiste den Dialog „Plot“->“Axis Settings“ auf.

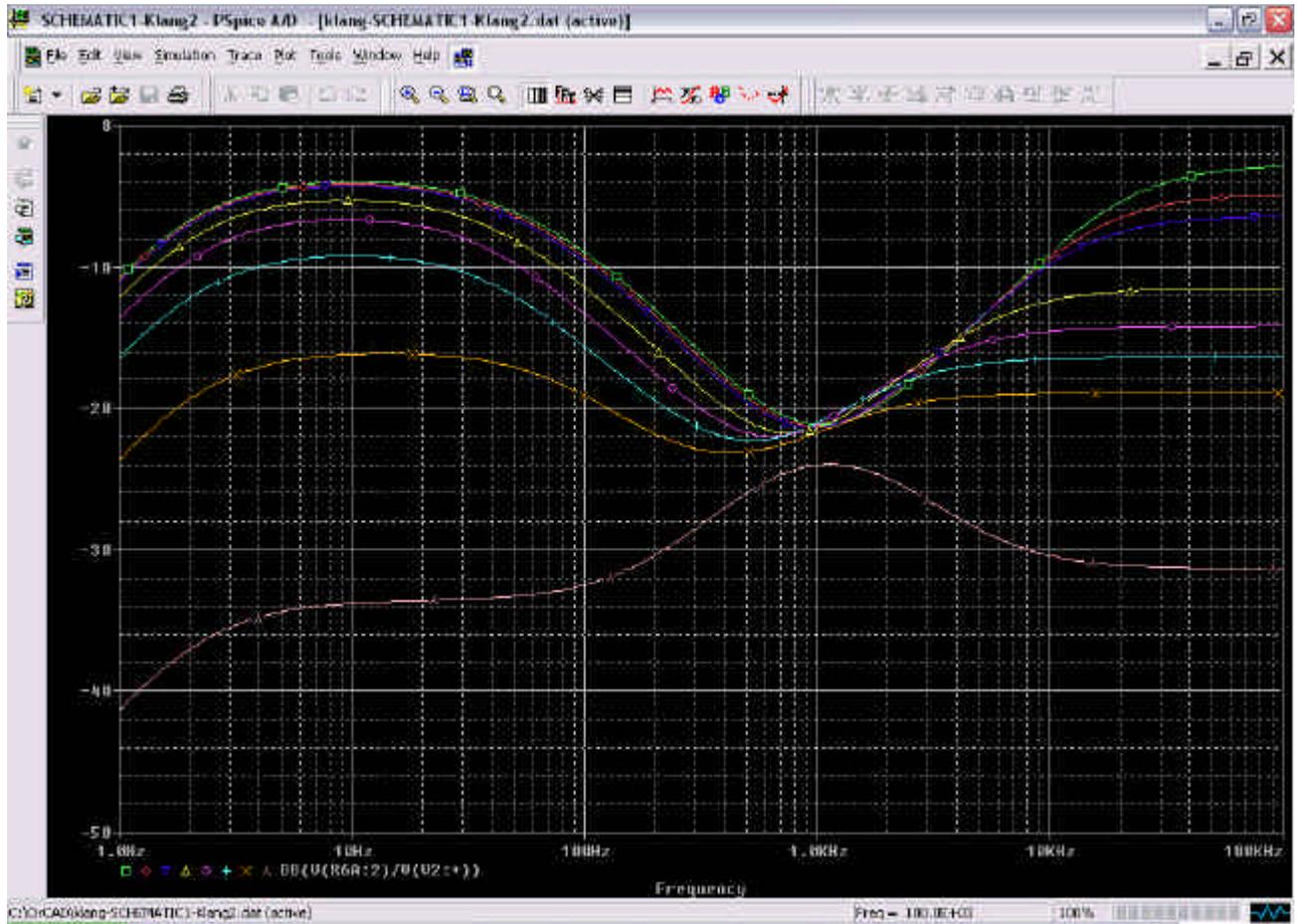


Hier kann man die Skalierung jeder Achse (Linear, Logarithmisch), den anzuzeigenden Datenbereich beeinflussen. PSpice hat die x-Achse aufgrund des Simulationsprofils automatisch logarithmisch dargestellt.

Nun begeben wir uns auf den Karteireiter „X Grid“.



Wir schalten die Automatik aus und setzen die Minor-Intervalls auf 10, um ein Gitter zu erhalten, das an logarithmisches Papier erinnert.



Auswertung der Datenreihen:

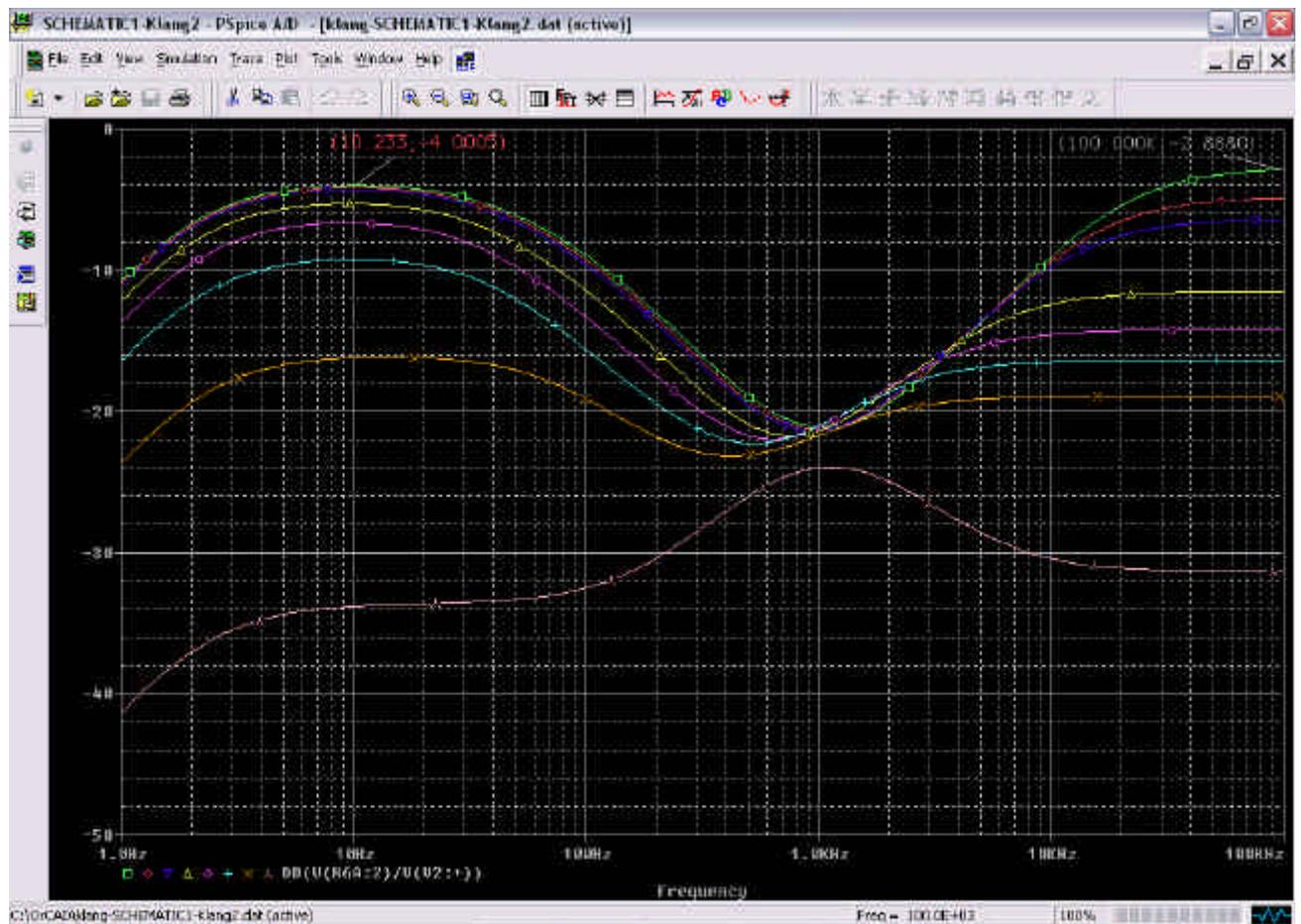
Jetzt wollen wir noch die Punkte der größten Bass- und Höhenverstärkung ermitteln. Dazu benutzen wir einen virtuellen Cursor, den wir über das Symbol „Toggle Cursor“ in der Toolbar einschalten (Symbol ).

Nun müssen wir noch die Datenlinie auswählen, auf welcher der Cursor laufen soll. Dazu ist ein Klick auf das farbige Symbol unterhalb des Diagramms notwendig. Wir benutzen hier die grüne Linie. PSpice markiert daraufhin das Symbol der benutzten Linie. Um den Cursor zu steuern, stehen uns die

Symbole  zur Verfügung. Mit einem Druck auf das Symbol ganz links stellt PSpice den Cursor auf den ersten Peak im Diagramm von links aus gesehen. Dieser stellt unsere

maximale Bassverstärkung dar. Wir markieren den Punkt durch Klick auf das Symbol . Danach lassen wir PSpice die maximale Verstärkung herausuchen durch Klick auf das

Cursorsteuerungssymbol . Auch diesen Punkt markieren wir, wie oben gezeigt. Dann können wir den Cursor über das „Toggle Cursor“ Symbol wieder ausschalten.



Hier können wir für Bässe eine minimale Dämpfung von 4.0005dB bei 10.233Hz und für Höhen von 2.8880dB bei 100kHz ablesen.

Alternativ zur Simulation des Netzwerkes in PSpice wäre eine Berechnung der Schaltung mit Mitteln der Netzwerkanalyse und der manuellen Berechnung des Betragsganges. Dabei wäre dann folgende Formel entstanden:

$$U_a = \frac{\left[(R5 + Z2) \cdot \left[-\frac{C}{F} + \left(\frac{E}{F} \right) \cdot \frac{\left(B - \frac{EC}{F} \right)}{\left(D - \frac{E^2}{F} \right)} \right] + R6B \cdot \left[\left(-\frac{C}{F} + \left(\frac{E}{F} \right) \cdot \frac{\left(B - \frac{EC}{F} \right)}{\left(D - \frac{E^2}{F} \right)} \right) + \frac{\left(B - \frac{EC}{F} \right)}{\left(D - \frac{E^2}{F} \right)} \right] \right] \cdot U_e}{\left[A - B \frac{\left(B - \frac{EC}{F} \right)}{\left(D - \frac{E^2}{F} \right)} - \frac{C^2}{F} + \frac{CE}{F} \frac{\left(B - \frac{EC}{F} \right)}{\left(D - \frac{E^2}{F} \right)} \right]}$$

$$A = \frac{1}{j\omega C_{in}} + \frac{1}{j\omega C1} + R1A + R1B + \frac{1}{j\omega C2}, \quad B = -\left(\frac{1}{j\omega C1} + R1A \right)$$

$$C = -\left(R1B + \frac{1}{j\omega C2} \right), \quad D = R2 + Z1 + R6A + R6B + R1A + \frac{1}{j\omega C1}$$

$$E = -(R6A + R6B), \quad F = R6A + R6B + Z2 + R5 + \frac{1}{j\omega C2} + R1B$$

$$Z1 = \frac{1}{j\omega C3 + \frac{1}{R3 + R4A}}, \quad Z2 = \frac{1}{j\omega C4 + \frac{1}{R4B}}$$

Der erkennbare Aufwand und die Fehleranfälligkeit der manuellen Berechnung im Verhältnis zur PSpice Simulation verdeutlicht deren Vorzüge.