



*Gunthard Kraus, DG 8 GB*

## Tipps aus der Simulationspraxis LTSpice-Version XVII

**Diese neue Idee entstand spontan, als die bekannte Simulationssoftware „LTSpice“ plötzlich einen Evolutionsprung von Version „VII“ auf Version „XVII“ machte. Sie bleibt weiterhin kostenlos, ist weltweit eingeführt und hat einiges an „Feintuning“ erfahren. Manche Dinge sind verbessert und bei einigen Programmteilen sind fühlbare Qualitätssteigerungen zu beobachten. So ist z.B. der Fast Fourier Transformationsteil wohl ohne Übertreibung in seiner Qualität nun führend gegenüber anderen, kostenpflichtigen Konkurrenzprodukten.**

### 1. Hinführung

Wenn man selbst viel mit LTSpice simuliert, andere Programme gut kennt, sich viel mit anderen Leuten austauscht, viele Fragen über eine Internetsuche zu beantworten sucht und zusätzlich in meinem Fall in der Vorlesung oder im Nachrichtentechnik-Labor der Hochschule das

Gefühl hat, dauernd einer intensiven Studenten-Fragestunde ausgesetzt zu sein - merkt man erst, mit wie vielen Sachen man sich schon beschäftigt hat und wie viele Lösungen man (oft mühsam!) ausgetüfelt hat. Und es wäre doch schade, das Alles nicht an Andere weiterzugeben, denn mancher LTSpice-Benutzer kann doch Manches davon gebrauchen. Deshalb starten wir diesen Versuchsballon aus der Simulations-Vorlesung und hoffen auf Interesse bei den Lesern.

### 2. Das Projekt: Untersuchung eines Sinus-Oszillators

#### 2.1. Teil 1: Ausgangsspektrum

Es soll einer Sinus-Oszillator-schaltung (Colpitts-Oszillator mit NPN-Transistor BC547C in Kollektorschaltung)

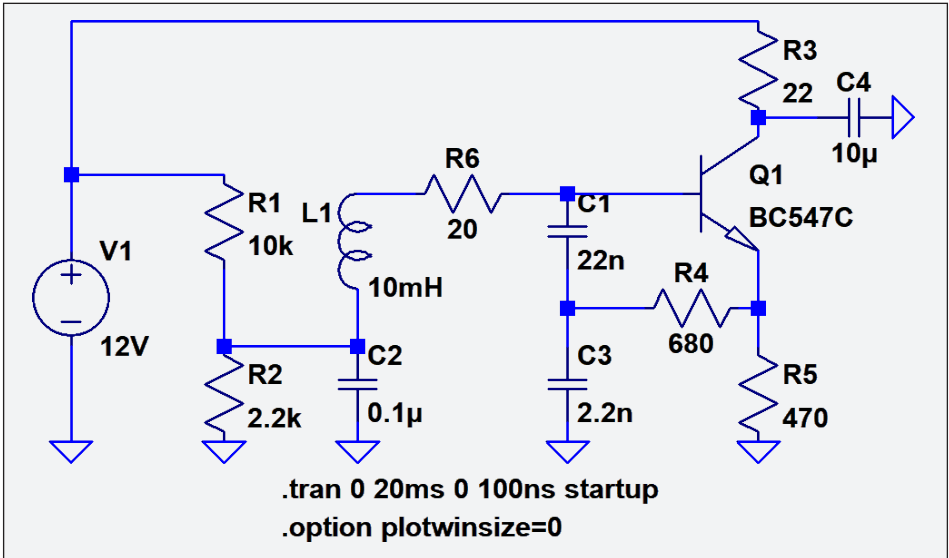


Bild 1: Eine Schaltung ohne Aufreger - ein normaler Colpitts-Oszillator

auf den Zahn geföhlt werden (**Bild 1**), dazu erstellt man diesen Stromlaufplan. In ihm werden die Spulenverluste durch einen Reihenwiderstand von 20 Ω berücksichtigt.

Bei den „Simulation Settings“ wählt man „Time domain (Transient)“ und einen Simulationszeitraum von 0 bis 20 Millisekunden. Das ergibt später im Spektrum eine Frequenzauflösung von  $1/20 \text{ ms} = 50 \text{ Hz}$ .

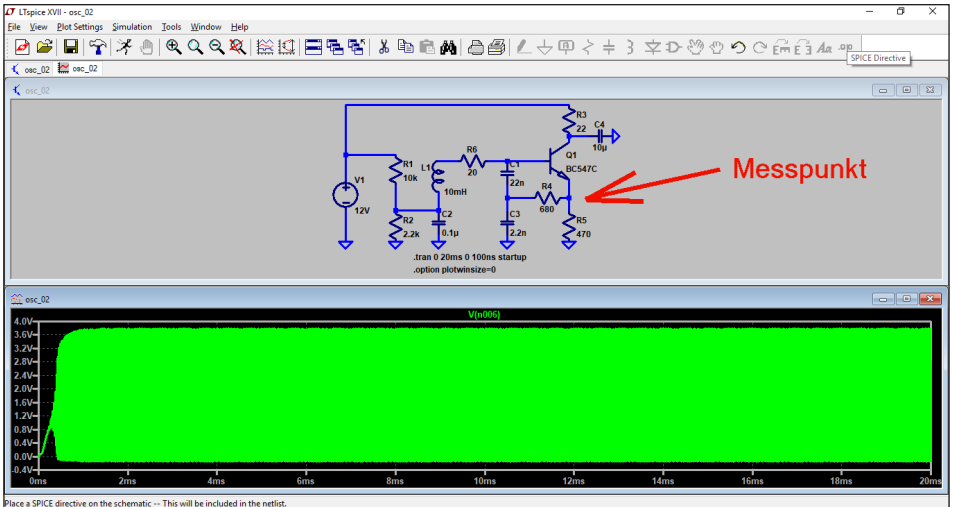
Bei der „Maximum Step Size“ gibt man den Wert 100 ns vor, damit SPICE das Anschwingen der Schaltung während der ersten 10 Mikrosekunden nicht übersieht. Außerdem erhält man damit eine echte Samplezahl von  $20 \text{ ms} / 100 \text{ ns} = 200\,000$  und kann bei der FFT mit mindestens 131072 Werten arbeiten. Dazu muss man auch die Datenkompression mit der Direktive „option plotwinsize=0“

ausschalten.

Damit die Schaltung in der Simulation überhaupt schwingt, muss man ihr einen „Schubs“ erteilen. Deshalb hängt man die Aufforderung „startup“ an das Simulationskommando. Damit wird die Versorgungsspannung in 10 Mikrosekunden linear von Null auf +12 Volt hochgefahren und somit die Oszillatorschaltung mit einem „soft start“ zum Anschwingen gebracht.

*Hinweis:*

Für den Transistor holt man zunächst das Symbol „NPN“ aus der Bibliothek und setzt es in der Schaltung ab. Sobald man nun mit der Maus auf das Symbol rollt und rechts klickt, kommt man an das Menü „Pick New Transistor“ heran. Darin befindet sich der Typ „BC547C“, und mit „OK“ wird er in die vorliegende Schaltung



*Bild 2: Die Simulation der Ausgangsspannung am Emitter zeigt das „Hochlaufen“ der Schaltung in etwa 2 Millisekunden*

übernehmen.

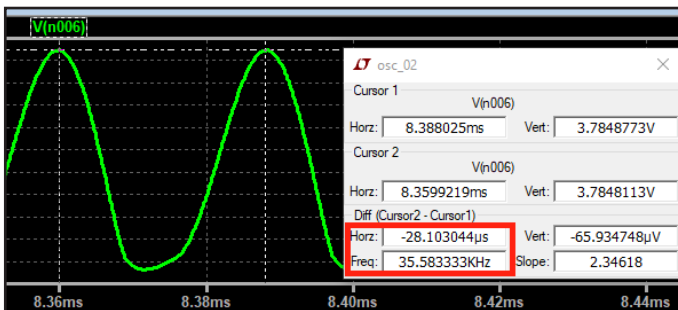
Nun wird simuliert und es sollte folgendes Ergebnis, entsprechend **Bild 2** erscheinen, wenn man mit der „Prüfspitze“ den Emitter des Transistors berührt.

Interessant ist es nun, nur eine Schwingung heraus zu zoomen (**Bild 3**). So kann man nämlich nicht nur die Kurvenform

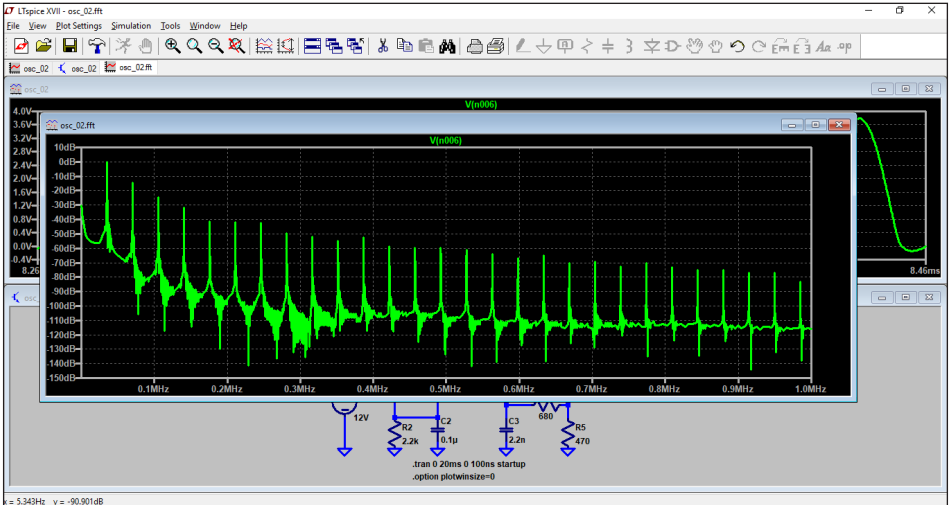
auf Verzerrungen hin kontrollieren, sondern auch (z.B. mit Hilfe des Cursors) über die Periodendauer des Signals seine Frequenz bestimmen:

Eine Messung der Periodendauer auf diese Art ergibt 28,1 Mikrosekunden. Dazu gehört eine Frequenz von 35,58 kHz.

Aber: Die Kurvenform ist noch nicht so



*Bild 3: Die Übersteuerung des Transistors sowie die Bestimmung von Periodendauer und Frequenz sind gut zu erkennen*

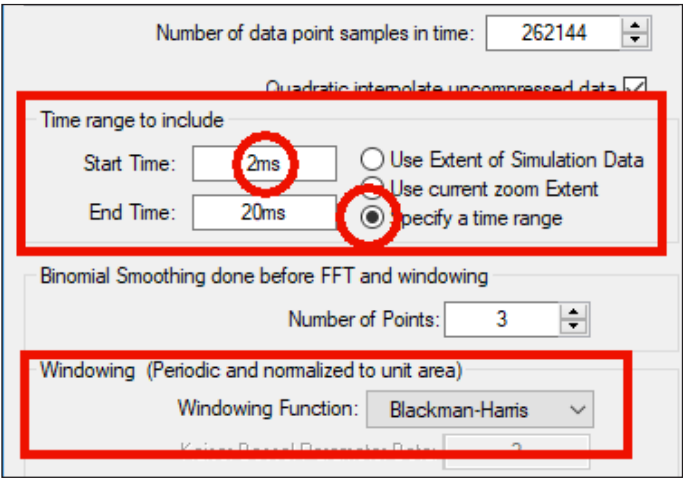


**Bild 4:** Das simulierte Spektrum, aber noch mit Schönheitsfehlern (siehe Text)

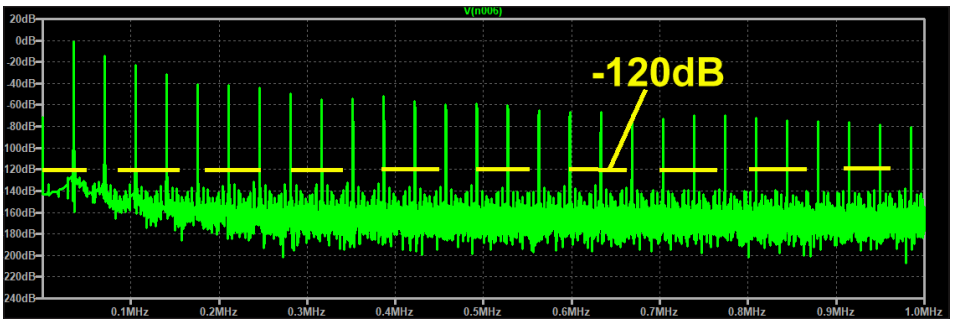
richtig schön sinusförmig. Die Mitkopplung ist viel zu stark und dadurch wird der Transistor kräftig übersteuert.

Dazu betrachtet man das Frequenzspektrum und klickt dazu mit der rechten

Maustaste auf den Spannungsverlauf. Dann folgt ein Klick auf „View“ und „FFT“. Für die FFT wählt man 262 144 Punkte und erhält **Bild 4** (... mit linearer Darstellung bis  $f = 1$  MHz).



**Bild 5:** Hier kommt die Hilfe in Form des Zeitfensters und eines weiteren „Windows“ (siehe Text)



*Bild 6: Der Erfolg überzeugt: nun sieht man bis -120 dB hinunter genau, was los ist*

Die Auswertung zeigt:

- a. Wegen der starken Übersteuerung und Verzerrung der Sinuskurve ist die doppelte Frequenz weniger als 20 dB gedämpft und man hat zusätzlich ein hohes „Grundrauschen“.
- b. Man kann am Anfang einen „Einschalt- und Einschwingvorgang“ beobachten, der anschließend in eine konstante Schwingung übergeht. Das führt zu einem „lückenlosen zusätzlichen Energiespektrum“, das sich zum Spektrum des Oszillatorsignals addiert. Also fängt man mit der FFT erst bei einem späteren Zeitpunkt (hier: 2 ms) an, wenn sich die Schwingamplitude stabilisiert hat.
- c. Zusätzlich legt man über den gesamten Kurvenverlauf noch ein „Blackmann-Harris-Window“, um weitere zusätzliche Störungen durch die noch verbleibenden abrupten Übergänge „AUS - EIN“ und am Ende der Kurve „EIN - AUS“ abzuschwächen.

Die erforderlichen zusätzlichen Einstellungen für die FFT zeigt **Bild 5** und **Bild 6** das Ergebnis. Nun erhält man bis 120 dB hinunter eine „spurious free“ - Darstellung und kann das korrekte Oberwellen-

spektrum genießen.

## 2.2. Teil 2:

Wie lässt sich die Kurvenform verbessern, um die unerwünschten Oberwellen zu dämpfen?

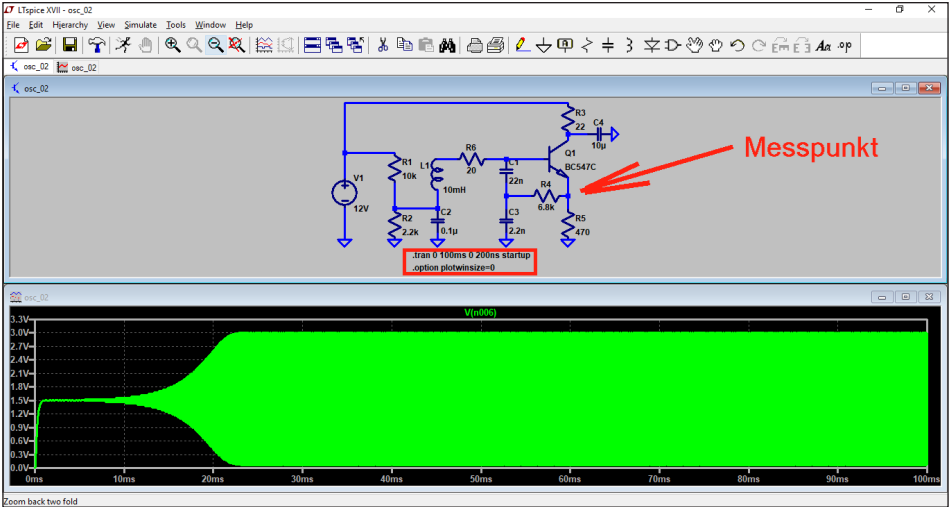
Hier kann man sich folgendermaßen behelfen:

Der Widerstand R4 / 680 Ω stellt die Mitkopplung dar, denn über ihn fließt ein Teil des Emitter-Wechselstromes in den Schwingkreis, deckt die Verluste und bewirkt so eine Dauerschwingung.

Erhöht man seinen Wert, wird diese Mitkopplung schwächer. Dadurch wird zwar die Kurvenform des Ausgangssignals verbessert und der Anteil der Oberwellen nimmt ab. Aber irgendwann reicht die Mitkopplung nicht mehr zum Ausgleich der Verluste und die Schaltung kann nicht mehr schwingen.

## 3. Simulationsaufgabe

Hier kann man versuchen, diesen Punkt durch wiederholtes Erhöhen von



**Bild 7:** Eine reduzierte Mitkopplung verlangsamt zwar deutlich das „Anschwingen“...

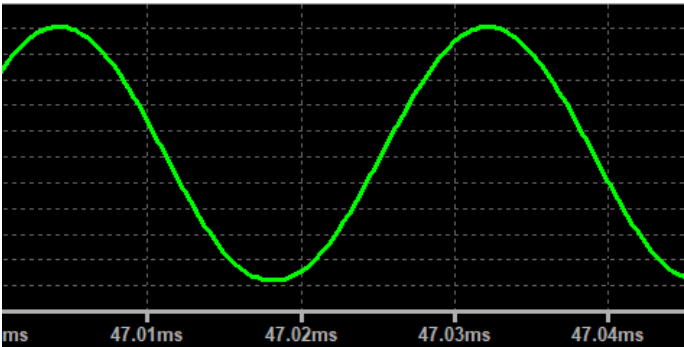
R4 und anschließender Simulation möglichst genau zu finden. Beobachten Sie dabei auch die Verbesserung der Kurvenform und die Veränderung des zugehörigen Oberwellenanteils über das simulierte Frequenzspektrum.

Beachten Sie auch, dass das „Anschwingen“ umso länger dauert, je näher Sie diesem Punkt kommen - denn dort star-

tet der Oszillator überhaupt nicht mehr. Dieser Punkt ist bei 6,8 kΩ schon fast erreicht. Prüfen Sie diese Information nach und simulieren Sie deshalb diesen Fall für 100 ms mit einem „Timestep“ von 200 ns.

### 3.1. Musterlösung:

Zunächst sieht man in **Bild 7** (mit



**Bild 8:** ...aber die Sinusform wirkt nun perfekt

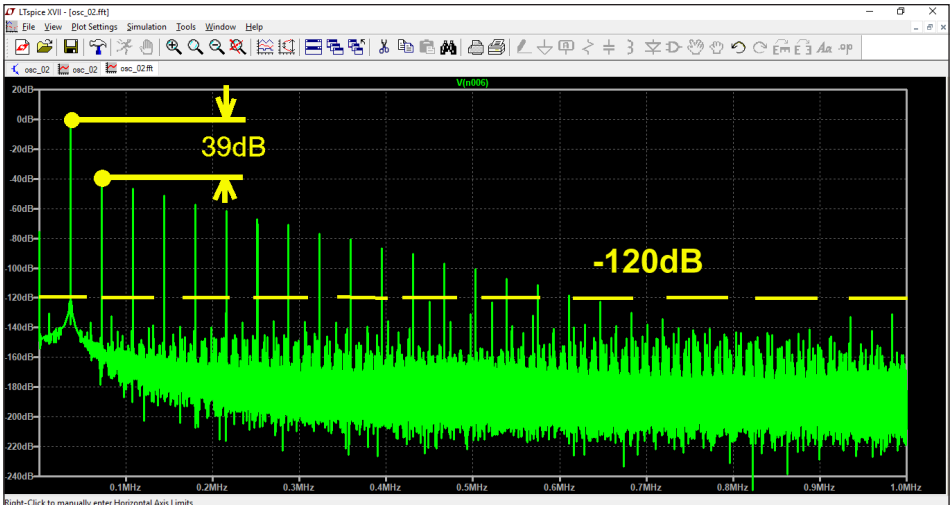


Bild 9: Die FFT zeigt es: so ist es jetzt gut!

$R_4 = 6,8 \text{ k}\Omega$ ) deutlich das mühsamere Anschwingen. Es dauert fast 25 Millisekunden - bei einer Simulationszeit von 100 ms und einem „Timestep“ von 200 ns, aber die Kurvenform ist nun natürlich (fast) perfekt (**Bild 8**).

Und der Blick auf das Frequenzspektrum (**Bild 9**) sollte dies bestätigen.

Allerdings muss man wieder den verwendeten Zeitbereich für die FFT auf die Zeit nach dem „Anschwingen“ (= ab 25 ms bis zum Ende) wählen und über das Ganze wieder ein „Blackman-Harris-Window“ legen. (= FFT für eine Zeit von  $t = 25 \text{ ms}$  bis  $100 \text{ ms}$  mit 262 144 Samples).

Die Verzerrungen sind im gesamten Frequenzbereich stark zurückgegangen und auch die Dämpfung bei der doppelten Frequenz ist auf 40 dB gestiegen. Außerdem ist wieder der gesamte dargestellte Bereich bis -120 dB „spurious free“.

## 4. Literatur/Links

[1] LTSpice zu finden unter:  
 „[www.gunthard-kraus.de](http://www.gunthard-kraus.de)“

ANZEIGE