

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Übungsaufgaben zur Hochfrequenz.....	1
1.1 Passive Bauelemente.....	2
1.1.1 Ü1a Serienschwingkreis.....	2
1.1.2 Ü2a Parallelschwingkreis.....	2
1.1.3 Ü3a Ein Bandfilter.....	2
1.1.4 Ü4a Bandbreite und Phasengang.....	2
1.1.5 Ü5a Ortskurven einer Reihenschaltung.....	2
1.1.6 Ü6a Ortskurven einer Parallelschaltung.....	2
1.1.7 Ü7a Ein Reihenschwingkreis mit Belastung.....	3
1.1.8 Ü8a Wandlung von Reihen- in Parallelschaltung.....	3
1.1.9 Ü9a Ein Beispiel für lose Kopplung.....	3
1.1.10 Ü10a Zeigerbild und Ortskurve.....	4
1.1.11 Ü11a Reihenschwingkreis am Generator.....	4
1.2 Vierpole.....	5
1.2.1 Ü1b Induktivitätsarme Masseanbindung und Stabilität.....	5
1.2.2 Ü2b Ein Kleinsignalverstärker.....	5
1.2.3 Ü3b Ein Dämpfungsglied.....	6
1.2.4 Ü4b Vierpolrechnung zu einem Anpassnetzwerk.....	6
1.3 Filter.....	7
1.4 Anpassung.....	7
1.4.1 Ü1d Impedanzablesungen im Smithdiagramm.....	7
1.4.2 Ü2d Reflexionsfaktorablesungen im Smithdiagramm.....	7
1.4.3 Ü3d Impedanz und Admittanz.....	7
1.4.4 Ü4d Entwicklung einer Ausgangsanpassung.....	7
1.5 Verstärker.....	8
1.5.1 Ü1e Umrechnung von W in dBm.....	8
1.5.2 Ü2e Umrechnung von dBm in W.....	8
1.5.3 Ü3e Ein SFET-Breitbandverstärker.....	8
1.5.4 Ü4e Ein SFET-Selektivverstärker.....	9

## 1. Übungsaufgaben zur Hochfrequenz

Zu jedem behandelten Themengebiet werden im folgenden ausgewählte Rechenübungen angeboten. Durch die regelmäßigen Übungen soll die Rechenfertigkeit und das Verständnis für die Hochfrequenz verfeinert werden.

## 1.1 Passive Bauelemente

### 1.1.1 Ü1a Serienschwingkreis

Ein 0603 SMD Kondensator hat durch seine Bauform bedingt eine Serienresonanz. Zur Unterdrückung einer Oberwelle möchten wir uns diesen eigentlich unerwünschten Effekt zu Nutze machen. Legen Sie den Nennwert des Kondensators fest. Wie groß muß  $R_S$  in der Ersatzschaltung des Kondensators sein, damit die Güte Q von 60, welches eine Herstellerinformation ist, von der Ersatzschaltung erreicht wird.

Gegeben:

gesucht:  $C_{Nenn}$  und  $R_S$

$$f_R = 3.6GHz$$

$$L_{0603} = 0.8nH$$

$$Q = 60$$

### 1.1.2 Ü2a Parallelschwingkreis

Gegeben:

gesucht:  $R_p$  und  $L_p$  zum passenden

$$B = 150kHz$$

Parallelschwingkreis

Resonanzfrequenz ist 94.3 MHz

$$C = 36pF$$

### 1.1.3 Ü3a Ein Bandfilter

Das Flugfunkband muss in einer Applikation ausgefiltert werden. Sie bestimmen die Dimensionierung!

Gegeben:

gesucht:  $R_S$  und  $L_S$  zum passenden Serienkreis

$$f_u = 117,975MHz$$

$$f_o = 136,000MHz$$

$$C = 36pF$$

### 1.1.4 Ü4a Bandbreite und Phasengang

Gegeben ist ein Reihenschwingkreis mit  $L = 3.3nH$  und  $C = 2.2pF$

gesucht: R für eine Güte Q von 90

Bitte vervollständigen Sie die Tabelle:

$f / MHz$			
$\varphi / ^\circ$	-45	0	+45

### 1.1.5 Ü5a Ortskurven einer Reihenschaltung

Gegeben ist eine Reihenschaltung von  $R = 30 \Omega$  und  $C = 2.2pF$ . Zeichnen Sie in einem geeigneten Maßstab die Ortskurve in der Impedanzebene und die dazu inverse Ortskurve in der Leitwertebene.

### 1.1.6 Ü6a Ortskurven einer Parallelschaltung

Gegeben ist eine Parallelschaltung von  $R = 20 \Omega$  und  $L = 3.3nH$ . Zeichnen Sie die Ortskurve in der Leitwertebene und die dazu inverse Ortskurve in der Impedanzebene. Markieren Sie jeweils die Punkte, wo die Phase  $0^\circ$ ,  $+45^\circ$  und  $-45^\circ$  erreicht.

### 1.1.7 Ü7a Ein Reihenschwingkreis mit Belastung

Ein Serienschwingkreis wird mit einer Quelle und einem Verbraucher zusammenschaltet. Gegeben sind folgende Daten:

Innerer Widerstand der Quelle:	5 Ohm
Lastwiderstand:	6 Ohm
Induktivität der Spule:	200nH
Gütefaktor der Spule:	90
Kapazität des Kondensators:	50pF
Gütefaktor des Kondensators:	300

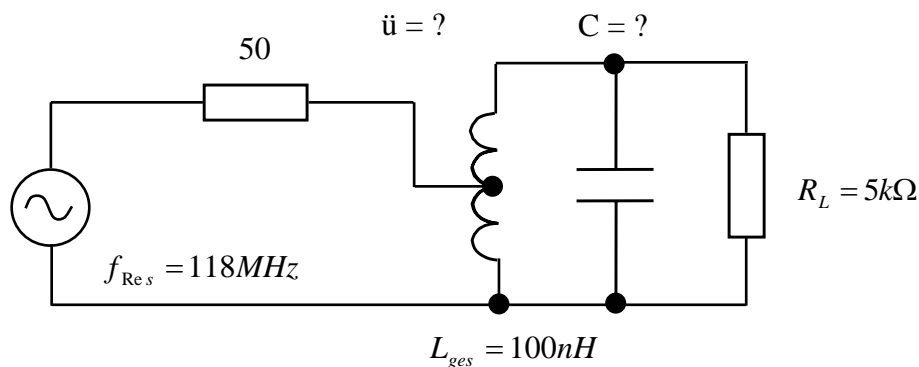
Bitte geben Sie an:  
Resonanzfrequenz des Systems  
Die Leerlaufgüte des Schwingkreises  
Die Betriebsgüte der Schaltung

### 1.1.8 Ü8a Wandlung von Reihen- in Parallelschaltung

Gegeben ist eine Reihenschaltung aus 2.2pF Kondensator und 25 Ohm Widerstand. Berechnen Sie für die Frequenz 1.8 GHz die Werte für die Bauelemente einer äquivalenten Parallelschaltung. Also welcher R und welches Blindelement (L oder C?) in Parallelschaltung ergeben bei 1.8GHz die gleiche Impedanz wie die oben angegebene Reihenschaltung.

### 1.1.9 Ü9a Ein Beispiel für lose Kopplung

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Die Güte des Kondensators beträgt 300. Die Güte der Spule weist den Wert 90 auf.  
Wie groß ist die Kapazität des Kondensators ? Legen Sie für eine Bandbreite von 11,8 MHz das Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  fest!

### 1.1.10 Ü10a Zeigerbild und Ortskurve

Gegeben ist eine Parallelschaltung einer 4,7 nH Spule und eines 100 Ω Widerstandes.

- Zeichnen Sie das Zeigerbild in der Leitwertebene für eine Frequenz von 2.14GHz (UMTS Band).
- Ermitteln Sie die für diese Frequenz äquivalente Reihenschaltung. Um welche Art von Blindelement handelt es sich?
- Zeichnen Sie jetzt das Zeigerbild der Parallelschaltung für 1.8GHz und danach für 2.5GHz. Ergänzen Sie die Tabelle :

$f / GHz$	1.8	2.14	2.5
$\varphi_Y / ^\circ$			
$ Y  / mS$			

### 1.1.11 Ü11a Reihenschwingkreis am Generator

Gegeben ist eine Reihenschaltung mit  $L=8.2$  nH,  $C=5.6$  pF und  $R_1=4.7$  Ω. Die Güte der Spule beträgt 20, die des Kondensators 100. Bestimmen Sie die Resonanzfrequenz des Systems und dessen Leerlaufgüte. Das System wird jetzt an einen Messsender mit 50Ω Innenwiderstand (HF Generator) angeschlossen. Der Generator lieferte im Leerlauf eine Spannung von 250mV Spitze-Spitze. Wie groß ist dann jetzt der Effektivwert der Spannung über dem Widerstand  $R_1$  bei Resonanzfrequenz ?

## 1.2 Vierpole

### 1.2.1 Ü1b Induktivitätsarme Masseanbindung und Stabilität

Eine S-Parametermessung mit einem Netzwerkanalysator wurde an einem Hetero Bipolar Transistor durchgeführt. Aus der Fülle der Werte wollen wir uns als Stichprobe die Werte für einen Frequenzpunkt herauspicken. Zum Beispiel für  $f = 2.14\text{GHz}$  (UMTS down link band) erhalten wir 4 komplexe Zahlen mit Betrag und Phase:

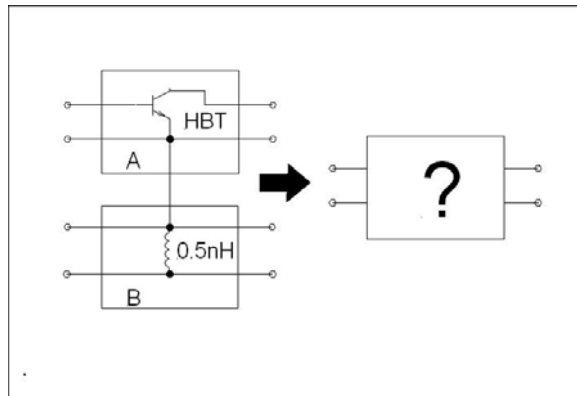
$$s_{11} = 0.1497 \cdot e^{j77.14^\circ}$$

$$s_{12} = 0.051 \cdot e^{-j69.6^\circ}$$

$$s_{21} = 5.317 \cdot e^{-j10.85^\circ}$$

$$s_{22} = 0.343 \cdot e^{-j167.8^\circ}$$

Um den Einfluss einer guten induktivitätsarmen Masseanbindung des Emitters in der HF zu demonstrieren machen wir ein rechnerisches Experiment. Zwischen den Emitter und die Masse wird eine Induktivität von  $1.5\text{nH}$  eingefügt und das Problem wird mit Hilfe von zwei Vierpolen beschrieben:



- Überlegen Sie, welche Art von Vierpolparametern hier geeignet ist um aus den beiden Vierpolparametersätzen A und B den Parametersatz des resultierenden Gesamtvierpols zu erhalten.
- Rechnen Sie die s-Parameter des Vierpols A in die in a) gefundene geeignete Form um.
- Errechnen Sie für den Vierpol B eigenständig die Vierpolparameter.
- Errechnen Sie bitte aus A und B den Gesamtvierpol.
- Wandeln Sie das Ergebnis in s-Parameter zurück und vergleichen Sie das Ergebnis mit den oben gegebenen s-Parametern!

### 1.2.2 Ü2b Ein Kleinsignalverstärker

Gegeben sind y-Parameter gültig für den Frequenzbereich bis  $100\text{MHz}$  eines Sperrschichtfeldeffekttransistors (SFET):

$$Y_{11} = +j\omega 2.5\text{pF};$$

$$Y_{12} = -j\omega 0.85\text{pF};$$

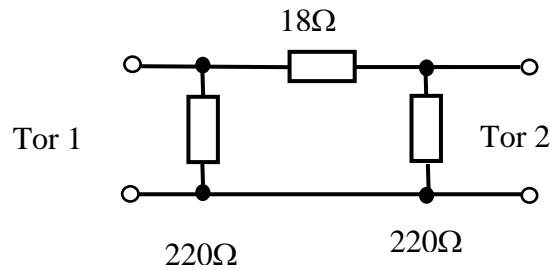
$$Y_{21} = 6\text{mS};$$

$$Y_{22} = 18\mu\text{S} + j\omega 2.5\text{pF}$$

Zeichnen Sie das formale Ersatzschaltbild für diesen Fall. An den Eingang wird ein HF Signalgenerator mit  $50\Omega$  Innenwiderstand geschaltet. Die Generatorklemmenspannung beträgt  $100\text{mV } U_{\text{eff}}$ . Wie groß muss der rein reelle Lastwiderstand für den Resonanzfall am Tor 2 sein um eine Spannungsverstärkung von 6 zwischen Tor 2 und Tor 1 zu erreichen? Wenn Sie am Ausgang eine  $50\Omega$  Belastung mittels Übertrager lose ankoppeln wollen, welches  $\bar{u}$  benötigen Sie, damit am Tor 2 die Belastung unverändert bleibt?

### 1.2.3 Ü3b Ein Dämpfglied

Ein  $\pi$ -Dämpfglied wurde im Labor aufgebaut. Der Bezugswellenwiderstand beträgt  $50\Omega$ :



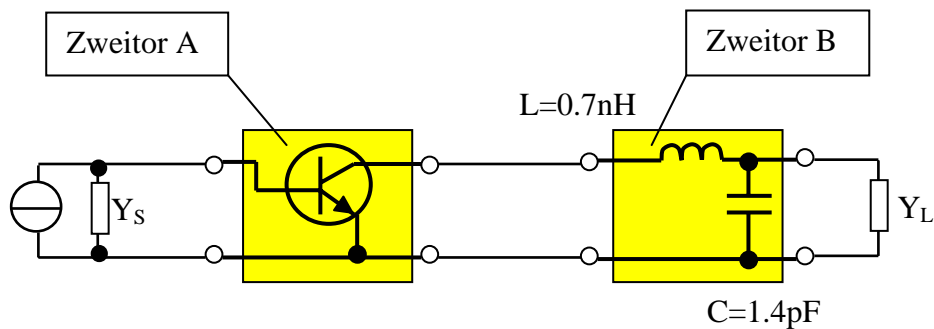
- Berechnen Sie die 4 Y Parameter
- Berechnen Sie die 4 Z Parameter
- Rechnen Sie a) oder b) mit Hilfe der Umrechnungstabelle in s-Parameter um.
- Wie viele dB Dämpfung werden erreicht?

### 1.2.4 Ü4b Vierpolrechnung zu einem Anpassnetzwerk

Ein HBT Verstärker arbeitet bei 3GHz und hat folgende s-Parameter:

$$S = \begin{vmatrix} 0,640 \cdot e^{j172,415^\circ} & 0,030 \cdot e^{-j142,5^\circ} \\ 2,493 \cdot e^{-j88,39^\circ} & 0,526 \cdot e^{j158,449^\circ} \end{vmatrix}$$

Der Verstärker wird mit einem Ausgangsanpassnetzwerk versehen um seine Verstärkung bei 3GHz anzuheben:



- Welche Art von Parametern eignet sich um das Verhalten des Transistors und des Anpassnetzwerkes in einem neuen gemeinsamen Vierpol zusammengefasst zu beschreiben?
- Rechnen Sie die s-Parameter des Transistors in die unter a) gefundene Form um.
- Berechnen Sie für das Zweitor B selbstständig die geeigneten Vierpolparameter für 3GHz.
- Geben Sie die s-Parameter des neuen zusammengefassten Vierpoles für 3GHz an.
- Um wie viele dB hat sich der  $S_{21}$ -Betrag verbessert?

## 1.3 Filter

## 1.4 Anpassung

### 1.4.1 Ü1d Impedanzablesungen im Smithdiagramm

Ein System bestehend aus einem HF Generator mit  $50\Omega$  Innenwiderstand und einer daran angeschlossenen Koaxialleitung mit  $50\Omega$  Wellenwiderstand wird mit unbekanntem Impedanzen abgeschlossen. Der an der Übergangsstelle Kabel – unbekanntem Impedanz auftretende Reflexionsfaktor wird messtechnisch erfasst. Bestimmen Sie für die folgenden 6 Fälle die unbekanntem Impedanzen grafisch mit Hilfe des Smith-Diagrammes und skizzieren Sie die Ersatzschaltung der jeweiligen Impedanz:

$$a) r_a = 0.64 \cdot e^{-j134^\circ}$$

$$b) r_b = 0.81 \cdot e^{j167^\circ}$$

$$c) r_c = 0.74 \cdot e^{j63,5^\circ}$$

$$d) r_d = 1.0 \cdot e^{j90^\circ}$$

$$e) r_e = 0.74 \cdot e^{-j63^\circ}$$

$$f) r_f = 0.34 \cdot e^{j0^\circ}$$

### 1.4.2 Ü2d Reflexionsfaktorablesungen im Smithdiagramm

Gegeben sind jetzt die Impedanzen, mit denen das Koaxialkabel abgeschlossen wird. Bestimmen Sie für die folgenden 6 Fälle die zugehörigen Reflexionsfaktoren grafisch mit Hilfe des Smith-Diagrammes am Ort des Überganges Koaxialkabel-Abschlussimpedanz:

$$a) Z_a = (15 + j15)\Omega$$

$$b) Z_b = (20 + j50)\Omega$$

$$c) Z_c = (50 + j100)\Omega$$

$$d) Z_d = (10 + j30)\Omega$$

$$e) Z_e = (5 + j5)\Omega$$

$$f) Z_f = 10 \cdot \Omega$$

### 1.4.3 Ü3d Impedanz und Admittanz

Bestimmen Sie für die Impedanzen 2a bis 2d die zugehörigen Leitwerte grafisch mit Hilfe des Smith-Diagrammes.

### 1.4.4 Ü4d Entwicklung einer Ausgangsanpassung

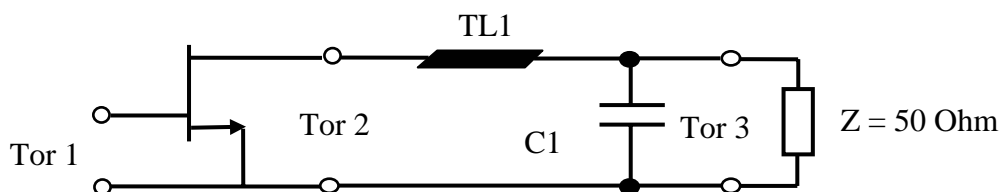
Gegeben sind die S – Parameter eines Heterofeldeffekttransistors für  $f = 2,15$  GHz (UMTS Band):

$$S_{11} = 0.868 \cdot \text{EXP}(j165^\circ)$$

$$S_{12} = -30\text{dB}$$

$$S_{21} = +7.33\text{dB}$$

$$S_{22} = 0.606 \cdot \text{EXP}(j165^\circ)$$



Entwickeln Sie das Anpassnetzwerk mit Hilfe des Smith Diagramms indem Sie die Länge der Leitung TL 1 und den Wert für den Kondensator C1 so festlegen, dass am Tor 3 die maximale Leistung erreicht wird. Die Mikrostreifenleitung TL1 hat bei 2,15 GHz ein  $\epsilon_{\text{reff}}$  von 2.75.

## 1.5 Verstärker

### 1.5.1 Ü1e Umrechnung von W in dBm

Die Umrechnung von W nach dBm erfolgt mit folgender Formel:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log \frac{P_W}{1\text{mW}}$$

Rechnen Sie folgende Leistungen **ohne** Taschenrechner in dBm um:

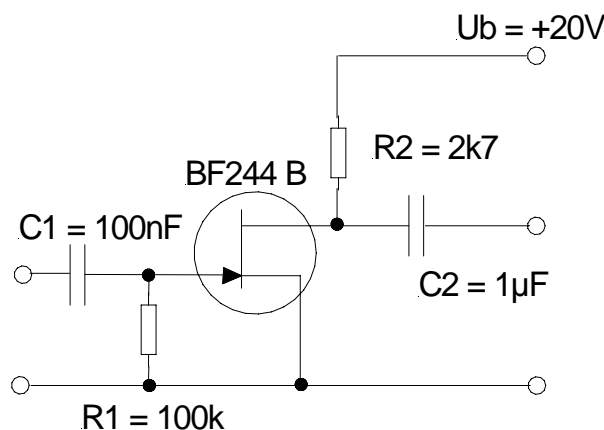
- 1W
- 10W
- 5W
- 2nW

### 1.5.2 Ü2e Umrechnung von dBm in W

Jetzt rechnen wir dBm in W um. Es geht **ohne** Taschenrechner mit dem Wissen, das 3dB mehr die Leistung verdoppeln und umgekehrt 3dB weniger die Leistung halbieren:

- 47dBm
- 24dBm
- 17dBm
- 47dBm

### 1.5.3 Ü3e Ein SFET-Breitbandverstärker



Gegeben sind die y-Parameter des FET gültig für den Frequenzbereich bis 100 MHz :

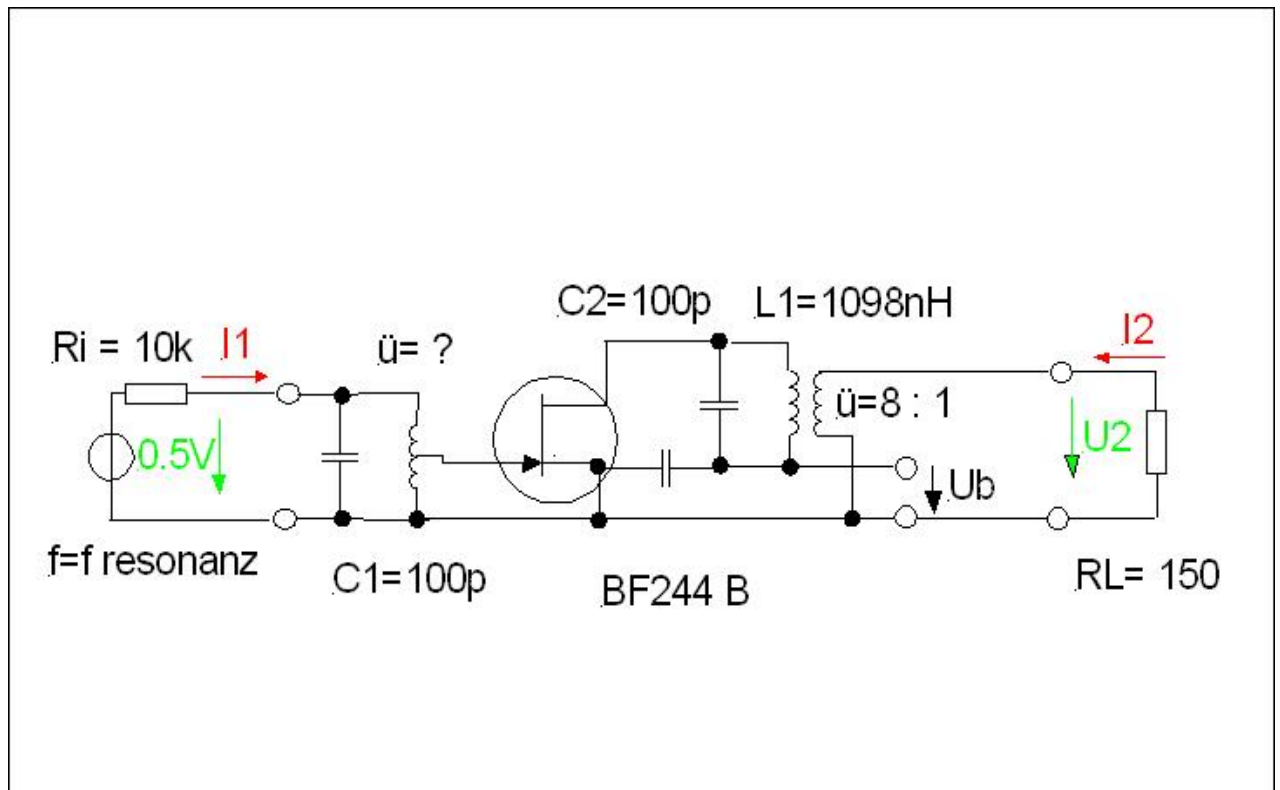
$$Y_{11} = +j\omega 2.5\text{pF}; \quad Y_{12} = -j\omega 0.85\text{pF}; \quad Y_{21} = 6\text{mS}; \quad Y_{22} = 30\mu\text{S} + j\omega 2.5\text{pF}$$

Zeichnen Sie die vollständige Kleinsignalersatzschaltung für diesen Fall. An den Eingang wird ein HF Signalgenerator mit  $50\Omega$  Innenwiderstand geschaltet. Am Ausgang ist die Last  $1\text{k}\Omega$  und parallel dazu  $3\text{pF}$ . Berechnen Sie für diesen Fall die 3dB Grenzfrequenz des Verstärkers. Berechnen Sie  $v_u$  bei 1,10 und 100MHz.



### 1.5.4 Üe Ein SFET-Selektivverstärker

Ein Selektivverstärker wird entwickelt.



Die Daten des FET:

$$Y_{11} = +j\omega 2.5 \text{ pF}; \quad Y_{12} = -j\omega 0.85 \text{ pF}; \quad Y_{21} = 6 \text{ mS}; \quad Y_{22} = 18 \mu\text{S} + j\omega 2.5 \text{ pF}$$

Die Schwingkreise haben gleiche Werte für Resonanzfrequenz und Leerlaufgüte.

Leerlaufgüte=85.

- Legen Sie den Wert für  $\ddot{u}$  am Eingang so fest, dass der Abstand zur Stabilitätsgrenze = 26dB beträgt.
- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_2$ .