

Transistor-Kennlinien

Versuch Nr.

3

Erforderliche Geräte

Anzahl	Bezeichnung, Daten	GL-Nr.
1	Netzgerät 0 ... 15V	101
1	Netzgerät 0 ... 30V	111
1	Sinusgenerator 0 ... 2V, 2kHz	141
1	Millivoltmeter 2kHz	161
3	Vielfachmessgeräte	121/122/123
1	FET $I_{DSS} = 10 \dots 12\text{mA}$, $U_p = -3,5 \dots -4\text{V}$	
1	Übertrager 1 : 1	
1	Steckbrett	
1	Morsetaste	
3	Kurzschlussstecker	
1	Koaxialkabel BNC/2 Bananenstecker	

Datum:

Name:

Versuch durchgeführt:

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Grundsätzliche Eigenschaften des Feldeffekttransistors

Der Feldeffekttransistor (FET) kann als steuerbarer Widerstand aufgefasst werden. Er besitzt folgende Eigenschaften:

- Der Stromfluss im FET entsteht nur durch Ladungsträger einer Polarität, daher hat er auch den Namen unipolarer Transistor. Den normalen Transistor bezeichnet man im Gegensatz dazu als bipolar.
- Der Stromfluss wird ausschließlich mit Hilfe eines elektrischen Feldes gesteuert (Feldeffekt), welches senkrecht zur Stromflussrichtung wirkt.

1.2 Grundformen des FET

Es gibt zwei Grundformen des FET:

- Den Sperrschicht-FET oder junction-gate field-effect-transistor (J-FET),
- den Isolierschicht-FET oder insulated-gate field-effect-transistor (IG-FET).

Die Schaltzeichen von FET sind in DIN 41785 genormt. Bild 1 zeigt die Symbole der Sperrschicht-FET mit n-Kanal bzw. p-Kanal.

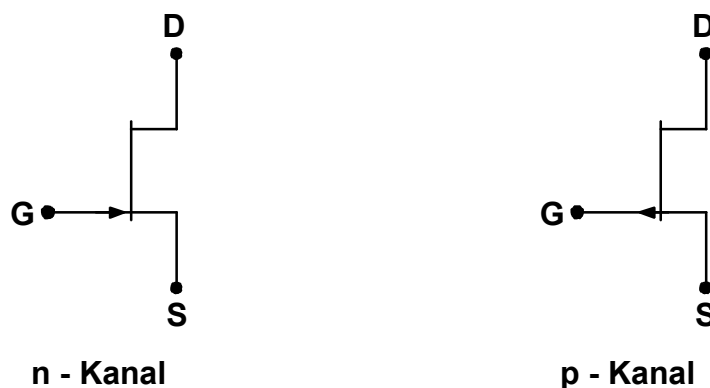


Bild 1 Schaltzeichen von Sperrschicht-FET

Die Anschlüsse von FET werden mit Source (S), Gate (G) und Drain (D) bezeichnet. Die (nicht üblichen) äquivalenten deutschen Bezeichnungen wären etwa Quelle (S), Tor (G) und Senke (D). Die leitende Verbindung zwischen Source und Drain ist der sogenannte Kanal. Beim n-Kanal FET besteht der Kanal aus n-leitendem Halbleitermaterial, beim p-Kanal FET aus p-leitendem Halbleitermaterial. Im ersten Fall kommt der Stromfluss zwischen Source und Drain durch Elektronen zustande, im zweiten durch positiv geladene Defektelektronen (Löcher).

Der Sperrschicht-FET wird über einen in Sperrichtung gepolten pn-Übergang gesteuert. Beim Isolierschicht-FET wirkt das Steuerfeld über eine Isolierschicht auf den Kanal. Nach dem Verhalten gegenüber der Steuerspannung u_{GS} kann man unterscheiden zwischen selbstleitenden und selbstsperrenden FET. Ist $u_{GS} = 0$, dann ist der Kanal eines selbstleitenden FET leitend, der eines selbstsperrenden nichtleitend. Sperrschicht-FET sind grundsätzlich selbstleitend.

Im Folgenden wird ein n-Kanal Sperrschicht-FET behandelt. Alle Ausführungen gelten aber gleicherweise für p-Kanal Sperrschicht-FET, wenn man die Polaritäten aller Spannungen und Ströme vertauscht sowie mit kleinen Änderungen auch für IG-FET. Weiterhin werden Ströme und Spannungen nach DIN 41785 gekennzeichnet:

- Kleinbuchstaben für Augenblickswerte,
- Großbuchstaben für Gleichgrößen und Effektivwerte.

Als Bezugspotential dient stets der Sourceanschluss.

1.3 Wirkungsweise des FET

1.3.1 Aufbau

In Bild (2a) ist der Aufbau eines Sperrschicht-FET schematisch dargestellt. Zwischen Sourceanschluss S und Drainanschluss D verläuft der n-leitende Kanal. Er wird von den p-leitenden Gatezonen umschlossen. An den Grenzschichten bilden sich zwei nichtleitende Sperrschichten aus. Diese sind auch bei unbeschaltetem oder mit Source kurzgeschlossenem Gate schwach ausgebildet (Bild 2a). Bei positiver Spannung u_{GS} werden die pn-Übergänge zwischen Gate und Kanal leitend und es fließt ein Gatestrom i_G (vgl. Versuch „Nichtlineare Widerstände“, Halbleiterdioden), so dass der Vorteil der stromlosen Steuerung (Feldeffekt) verloren geht. Diesen Betriebsausfall sucht man daher stets zu vermeiden und es wird im Folgenden stets $u_{GS} \leq 0$ und $i_G = 0$ vorausgesetzt.

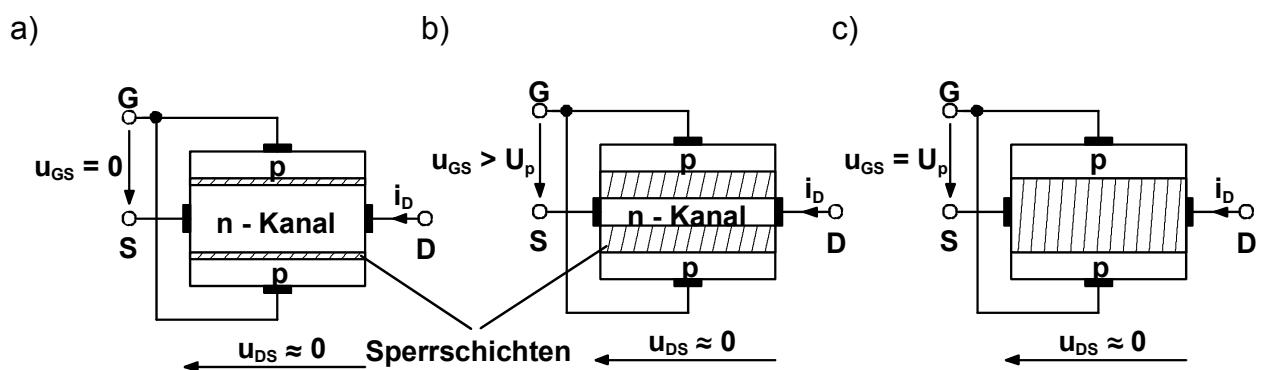


Bild 2 Sperrschicht-FET bei verschiedenen Spannungen u_{GS}

1.3.2 Steuerwirkung der Gate-Source-Spannung

Bei kleinen Spannungen zwischen Drain und Source verhält sich der Kanal wie ein linearer ohmscher Widerstand, d.h. es ist $i_D \sim u_{DS}$. Lässt man die Spannung u_{GS} ausgehend von null immer mehr ins Negative gehen, so wachsen die Sperrschichtzonen in den Kanal hinein (Bild 2b). Dadurch wird der Querschnitt des Kanals verringert und sein Widerstand erhöht. Hat die Gatespannung die sog. Abschnürspannung (pinch-off voltage) $u_{GS} = U_p < 0$ erreicht, berühren sich die Sperrschichten, der FET ist gesperrt und $i_D = 0$ (Bild 2c). Da sich der Drainstrom i_D jedoch in der Praxis nicht exakt auf null absenken lässt, legt man einen kleinen Wert für i_D fest, auf den man sich bei der Messung von U_p bezieht, den sog. Abschnürstrom $I_{D(off)}$. Ein gebräuchlicher Wert ist $I_{D(off)} = 1\text{nA}$.

Die Abhängigkeit des Kanalwiderstands von u_{GS} wird in Bild 3 deutlich. Die Kennlinien gelten für kleine Werte von u_{DS} bei beliebiger Polarität.

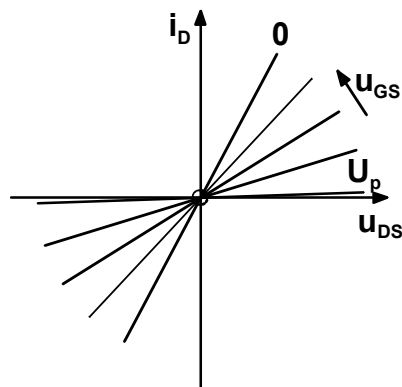


Bild 3 FET als steuerbarer Widerstand

1.3.3 Steuerwirkung der Drain-Source-Spannung

Eine Abschnürung des Kanals kann man auch mit der Drainspannung u_{DS} erreichen. Bild 4 zeigt die Ausbildung der Sperrschichten bei unterschiedlichen Spannungen u_{DS} .

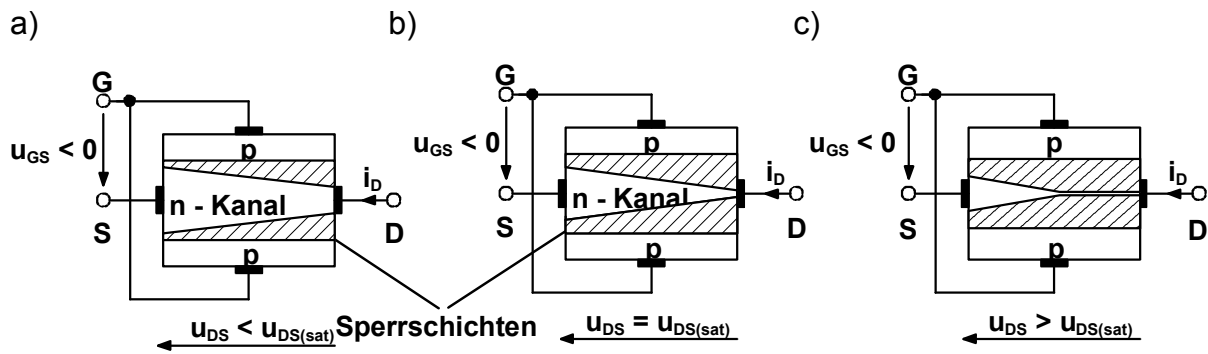
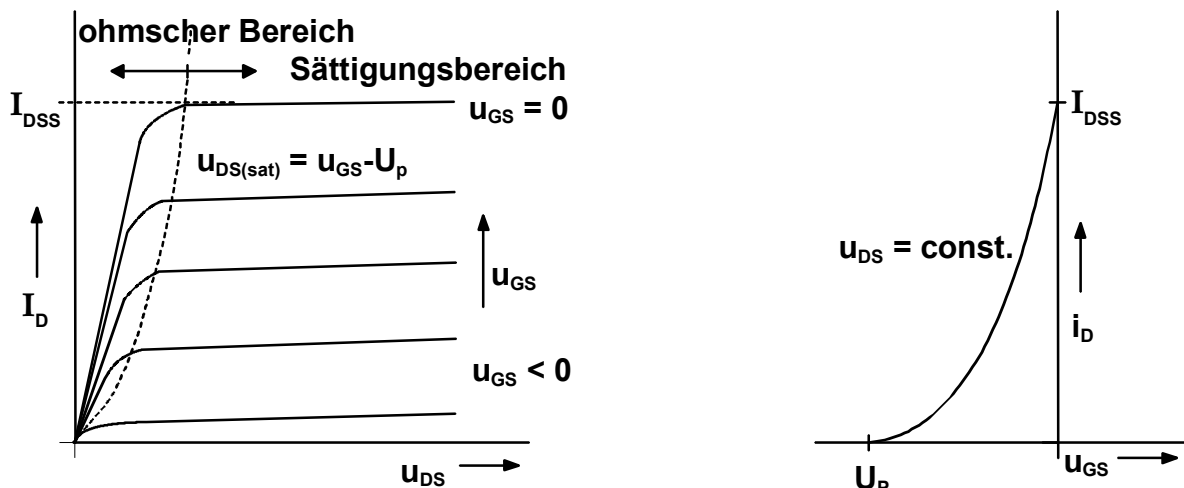


Bild 4 Ausdehnung der Sperrschichten bei verschiedenen Spannungen u_{DS}

Wächst u_{DS} von Null zu positiven Werten bei $u_{GS} = \text{const.}$, so steigt der Strom i_D zunächst linear mit u_{DS} an (siehe Bild 3). Wegen des Spannungsabfalls längs der Strombahn nimmt die örtliche Sperrspannung an den pn-Übergängen und damit die Ausdehnung der Sperrschichten von Source nach Drain hin zu (Bild 4a). Mit wachsender Spannung u_{DS} beginnt der Kanal sich merklich zu verengen. Der Kanalwiderstand wächst und der Anstieg von i_D mit u_{DS} wird immer geringer. Wird u_{DS} so weit erhöht, dass sich die Sperrschichten nahezu berühren (Bild 4b), so ist der Kanal am drainseitigen Ende abgeschnürt. Den dazu notwendigen Wert von u_{DS} bezeichnet man als Sättigungsspannung

$$u_{DS(sat)} = u_{GS} - U_p \quad (1)$$

Eine Steigerung der Spannung u_{DS} über $u_{DS(sat)}$ hinaus bewirkt, dass sich der Kanal in Richtung Source weiter einschnürt und zwar gerade so weit, dass der Drainstrom i_D nur noch geringfügig ansteigt (Sättigung, Bild 4c). Die Wirkungsweise des FET wird an den Ausgangskennlinien (Bild 5a) deutlich.



a) Ausgangskennlinienfeld

b) Steuerkennlinie

Bild 5 Kennlinien eines n-Kanal Sperrschicht-FET

Die gestrichelte Linie gibt den Verlauf $u_{DS} = u_{DS(sat)}$ an. Links davon ($u_{DS} < u_{DS(sat)}$) befindet sich der sog. ohmsche Bereich, rechts davon ($u_{DS} > u_{DS(sat)}$) der Sättigungsbereich. Hier ist i_D fast unabhängig von u_{DS} und nur noch eine Funktion von u_{GS} . Diese Abhängigkeit wird durch die sog. Steuerkennlinie von Bild 5b beschrieben. Der im Sättigungsgebiet bei $u_{GS} = 0$ fließende maximale Drainstrom wird als Drainsättigungsstrom I_{DSS} bezeichnet.

1.3.4 Kennliniengleichung des Sperrschicht-FET im Sättigungsbereich

Im Sättigungsbereich kann für den Drainstrom näherungsweise

$$i_p = \frac{1}{2} K \cdot (u_{GS} - U_p)^2 \quad \text{für} \quad U_{DS} > U_{DS(sat)} \quad (2)$$

geschrieben werden. Der Parameter K kann entweder durch I_{DSS} und U_p oder durch die technologischen Daten des Transistors ausgedrückt werden:

$$K = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{U_p^2} = \frac{\mu \cdot C_G}{L^2}, \quad (3)$$

wobei μ die Elektronenbeweglichkeit, L die Kanallänge und C_G die Gatekapazität sind.

1.3.5 Temperaturverhalten des FET

Die Steuerkennlinie ist temperaturabhängig. Bild 6 zeigt ihren Verlauf für verschiedene Temperaturen. Man erkennt, dass es einen Arbeitspunkt gibt, in dem der Drainstrom temperaturunabhängig ist. Ferner ändern sich mit der Temperatur die Parameter I_{DSS} und U_p . Bei den Messungen muss deshalb vermieden werden, dass sich der Transistor erwärmt, damit sich alle Werte auf dieselbe Temperatur, d.h. auf die jeweilige Umgebungstemperatur beziehen.

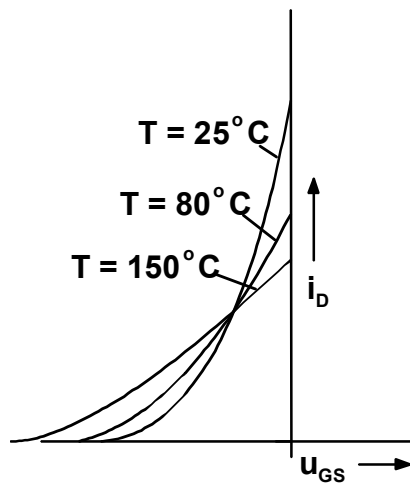


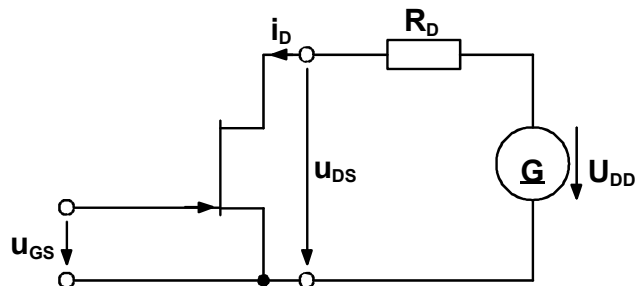
Bild 6 Temperaturabhängigkeit der Steuerkennlinie

1.4 Arbeitsgerade und Arbeitspunkt

Die ausgangsseitige Beschaltung des FET lässt sich durch eine Ersatzschaltung aus Leerlaufspannung U_{DD} und Innenwiderstand R_D beschreiben (Bild 7a). Hierfür gilt die Maschengleichung

$$i_D \cdot R_D + u_{DS} = U_{DD} \quad (4)$$

a)



b)

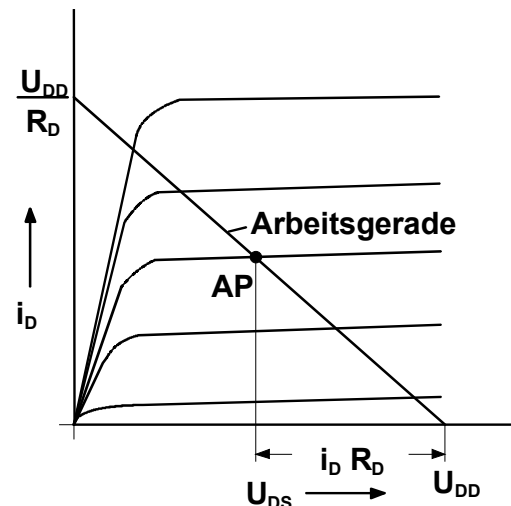


Bild 7 Zur Erklärung der Arbeitsgeraden

Die Darstellung dieses Zusammenhangs im Ausgangskennlinienfeld ergibt die sog. Arbeitsgerade (Bild 7b). Die zugehörigen Achsenabschnitte sind

$$i_D = U_{DD} / R_D \quad \text{für} \quad u_{DS} = 0, \quad (5a)$$

$$u_{DS} = U_{DD} \quad \text{für} \quad i_D = 0. \quad (5b)$$

Drainstrom und Drainspannung können nur solche Werte annehmen, die auf dieser Arbeitsgeraden liegen. Das Wertepaar (i_D, u_{DS}) nennt man Arbeitspunkt (AP). Der Arbeitspunkt ergibt sich als Schnittpunkt der Arbeitsgeraden mit der Kennlinie für die jeweilige Gatespannung u_{GS} (vgl. Versuch „Nichtlineare Widerstände“).

1.5 Kleinsignalparameter

Um das Verhalten eines FET bei der Aussteuerung durch Wechselspannung zu beschreiben, definiert man die auch bei Röhren und bipolaren Transistoren gebräuchlichen Kleinsignalparameter:

$$\text{Steilheit} \quad S = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{u_{DS} = \text{const}} \quad (6)$$

$$\text{Innenwiderstand} \quad R_i = \left. \frac{du_{DS}}{di_D} \right|_{u_{GS} = \text{const}} \quad (7)$$

$$\text{Durchgriff} \quad D = \left. \frac{du_{GS}}{du_{DS}} \right|_{i_D = \text{const}} \quad (8)$$

Die drei Größen S , R_i und D sind nicht voneinander unabhängig. Aus ihrer Definition folgt für das Produkt

$$|S \cdot R_i \cdot D| = 1 \quad (9)$$

Die obige Gleichung entspricht der Barkhausenformel der Hochvakuumröhre. S , R_i und D sind abhängig vom Arbeitspunkt, der Temperatur und der Frequenz. Für diesen Versuch wird vereinfachend angenommen, dass bei sinusförmigem Verlauf von u_{GS} , u_{DS} und i_D keine Phasenverschiebungen zwischen diesen Größen auftreten. Setzen sich diese nun jeweils aus einem Gleichanteil (I_D , U_{DS} , U_{GS}) und einem Wechselanteil mit kleinem Effektivwert (i_d , U_{ds} , U_{gs}) zusammen (sog. Kleinsignalbetrieb), d.h. ist

$$i_D = I_D + \sqrt{2} \cdot I_d \cdot \sin \omega t \quad (10a)$$

$$u_{DS} = U_{DS} + \sqrt{2} \cdot U_{ds} \cdot \sin \omega t \quad (10b)$$

$$u_{GS} = U_{GS} + \sqrt{2} \cdot U_{gs} \cdot \sin \omega t \quad (10c)$$

dann ergibt sich aus den Gleichungen (6) bis (8)

$$S = \frac{I_d}{U_{gs}} \Big|_{U_{ds} = 0} \quad (11)$$

$$R_i = \frac{U_{ds}}{I_d} \Big|_{U_{gs} = 0} \quad (12)$$

$$D = \frac{U_{gs}}{U_{ds}} \Big|_{I_{ds} = 0} \quad (13)$$

Diese Beziehungen gelten sinngemäß auch für komplexe Amplituden oder Effektivwerte.

Die Steilheit S ist ein Maß für die Verstärkerwirkung des FET und kann gemäß der Definition (6) aus der Steuerkennlinie oder dem Ausgangskennlinienfeld graphisch ermittelt oder an einer vereinfachten Verstärkerschaltung experimentell gemessen werden. Ferner kann man die Steilheit berechnen, indem man die Näherungsformel (2) für die Kennlinie heranzieht:

$$S = K \cdot (u_{GS} - U_p) \quad (14)$$

Auch der Innenwiderstand R_i kann graphisch aus dem Ausgangskennlinienfeld oder in einer geeigneten Schaltung gemessen werden. Die Berechnung aus (2) ergibt:

$$R_i \rightarrow \infty \quad (15)$$

Der Durchgriff D ist ein Maß für die im Verstärkerbetrieb unerwünschte Rückwirkung. Bei heute gebräuchlichen Bauelementen ist er sehr klein und daher sowohl graphisch als auch messtechnisch schwer zu bestimmen. Man berechnet ihn am besten aus der Barkhausenformel (9). Mit Gleichung (2) errechnet man

$$D = 0 \quad (16)$$

Das gegen Null gehen des Durchgriffs D im Sättigungsbereich ist ebenso wie der unendliche Innenwiderstand R_i nur aufgrund der unvollkommenen Annäherung des realen FET-Verhaltens durch Gl. (2) bedingt. Tatsächlich ist R_i nur sehr groß ($\approx 100\text{k}\Omega$) und D sehr klein ($\approx 10^{-2}$).

1.6 Aufnahme der Kennlinien

Die in den vorangehenden Abschnitten behandelten Kennlinien sollen durch punktweises Ausmessen ermittelt werden. Die in Halbleiter-Datenbüchern angegebenen Kennlinien sind gemittelt und gelten im Allgemeinen für eine Umgebungstemperatur von 25°C. Da sich der FET bei der Messung durch die aufgenommene Leistung erwärmt, verändern sich, wie in Abschnitt 1.3.5 gezeigt wurde, seine Parameter. Um dies möglichst zu verhindern, wird die Drainspannungsquelle über einen Taster nur so lange an den Transistor angelegt, wie es das Ablesen von I_D und U_{DS} notwendig macht.

Bild 8 zeigt eine Prinzip-Schaltung zur Aufnahme der Steuerkennlinie und des Ausgangskennlinienfelds.

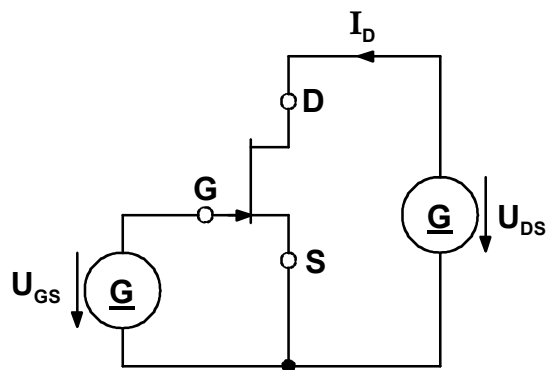
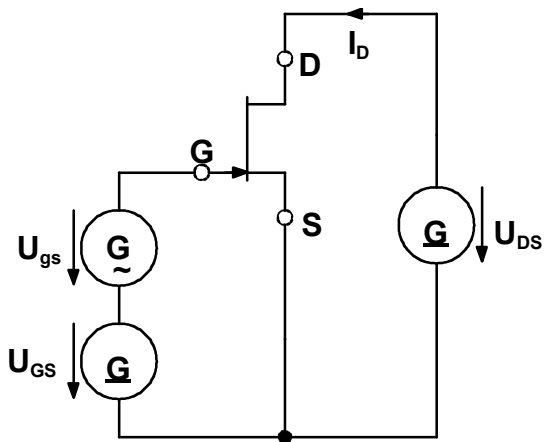


Bild 8 Schaltung zur Aufnahme der FET-Kennlinien

1.7 Dynamische Bestimmung von Steilheit und Innenwiderstand

Die Kleinsignalparameter lassen sich genauer bestimmen, indem man die in (10) gemachten Voraussetzungen durch geeignete Messschaltungen realisiert und die Kleinsignalparameter aus den Gleichungen (11) bis (13) bestimmt. Bild 9 zeigt zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Bestimmung von S (Bild 9a) und R_i (Bild 9b).

a)



b)

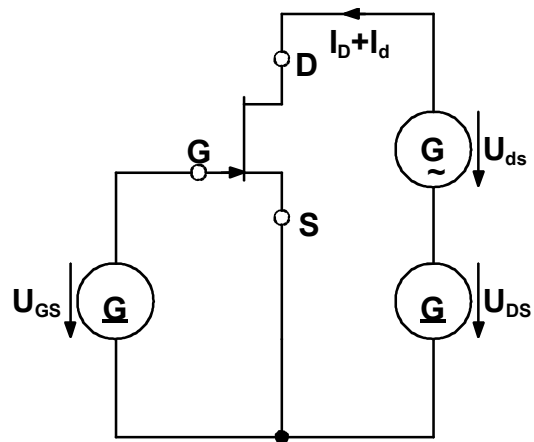


Bild 9 Messung von Steilheit und Innenwiderstand

2 Weiterführende Literatur

- [1] Hillebrand, Friedhelm; Heierling, Hermann:
Feldeffekttransistoren in analogen und digitalen Schaltungen
Franzis-Verlag
Fachbereichsbibliothek: ELT 530/048
- [2] Müller, Rudolf:
Bauelemente der Halbleiter-Elektronik
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
Fachbereichsbibliothek: ELT 530/005
- [3] Tietze, Ulrich; Schenk, Christoph:
Halbleiter-Schaltungstechnik
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
Fachbereichsbibliothek: ELT 530/001
- [4] Paul, Reinhold:
Feldeffekttransistoren
Fachbereichsbibliothek: ELT 530/189

3 Fragen und Aufgaben

Nachstehende Fragen und Aufgaben dienen Ihrer Selbstkontrolle. Falls Sie ohne Zuhilfenahme des ersten Abschnitts die Lösung nicht finden können, sollten Sie die betreffenden Kapitel nochmals durcharbeiten. Aufgaben, auf die im folgenden vierten Abschnitt Bezug genommen wird, werden zur Auswertung der Versuchsergebnisse benötigt und sollten daher in jedem Fall vorher gelöst werden, damit die für die Messungen zur Verfügung stehende Zeit nicht unnötigerweise geschmälert wird.

1. Erklären sie die Begriffe selbstleitender FET, selbstsperrender FET, n-Kanal und p-Kanal!
2. Erklären Sie die Steuerwirkung beim Sperrschicht-FET!
3. Es sei $U_p = -1,6V$ und $u_{GS} = -0,8V$. Bei welcher Drainspannung u_{DS} liegt die Sättigungsgrenze?
4. Skizzieren Sie Steuer- und Ausgangskennlinien eines FET und kennzeichnen Sie den ohmschen Bereich und den Sättigungsbereich, sowie die Werte U_p und I_{DSS} !
5. Wodurch ist die Lage der Arbeitsgeraden festgelegt?
6. Wie verhält sich der FET bei Erwärmung?
7. Wann liegt Kleinsignalbetrieb vor?
8. Geben Sie die Definitionen der Kleinsignalparameter an!
9. Wie lautet die Barkhausenformel?
10. Leiten Sie die Gleichungen (14), 15) und (16) her!
11. Beschreiben Sie die dynamische Messung von S und R_i !

4 Versuchsanleitung

4.1 Hinweise zu den Geräten

Die Netzgeräte sind im Rahmen des Versuchs als ideale Spannungsquellen zu betrachten. Dazu ist die Strombegrenzung so einzustellen, dass der eingestellte Grenzwert etwas über dem maximalen Laststrom liegt. Die eingebauten Instrumente erlauben keine genauen Messungen!

Der Sinusgenerator GL 141 ist für Gleichstrom nicht durchlässig und nicht erdfrei. Er wird daher über einen Übertrager mit $\ddot{u} = 1$ angeschlossen.

Das mV-Meter GL 161 ist bestimmt zur Messung kleiner Wechselspannungen. Der Innenwiderstand kann vernachlässigt werden.

Das elektronische Vielfachmessinstrument GL 133 dient zur Messung von Gleich- und Wechselspannungen in Bereichen ab 100mV bei Frequenzen bis 25kHz. Der Innenwiderstand ist vernachlässigbar. Um Fehlmessungen zu vermeiden, müssen Nullpunkt und Eichung überprüft werden.

Das Vielfachmessgerät GL 121 wird zur Messung von U_{GS} und I_D verwendet. Der Innenwiderstand ist nicht vernachlässigbar, deshalb muss spannungsrichtig gemessen werden. Achten Sie darauf, dass die Instrumente nicht überlastet werden! Nach Versuchsende sind alle Geräte auszuschalten.

4.2 Bestimmung von Sättigungsstrom und Abschnürspannung

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 10 auf! Die beiden Widerstände haben nur eine Funktion als Spannungsteiler. Die Diode soll verhindern, dass $U_{GS} > 0$ wird. Diese Elemente sowie der FET sind bereits fest mit dem Steckbrett verbunden.

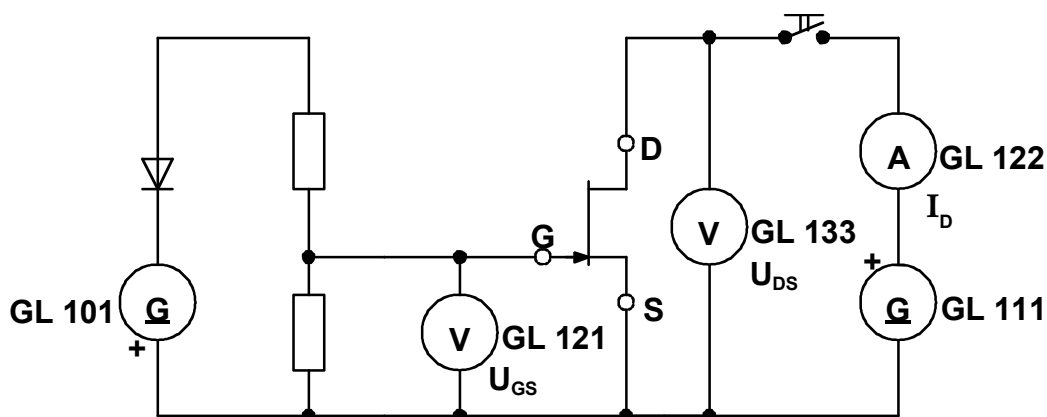


Bild 10 Schaltung zur Aufnahme der Kennlinien

Damit der Transistor nicht durch Überlastung zerstört wird, darf die Verlustleistung $P = U_{DS} \cdot I_D = 300 \text{ mW}$ nicht überschritten werden.

1. Messen Sie den Drainsättigungsstrom I_{DSS} für $U_{DS} = 10 \text{ V}$!
2. Messen Sie die Abschnürspannung U_p für $U_{DS} = 10 \text{ V}$ und $i_D = 10 \text{ nA}$!
3. Berechnen Sie hieraus nach Gleichung (3) den Faktor K !

Diese Werte und alle weiteren Ergebnisse sind in die entsprechenden Tabellen einzutragen.

4.3 Steuerkennlinie und Steilheit

1. Berechnen Sie die Steuerkennlinie nach (2) für die in Tabelle 2 angegebenen Werte von U_{GS} !
2. Stellen Sie den Verlauf in Diagramm 1 dar!

Die Schaltung bleibt nach Bild 10 bestehen.

3. Messen Sie den Drainstrom I_D für $U_{DS} = 10 \text{ V}$ nach Tabelle 2!
4. Tragen Sie die Messwerte in das Diagramm 1 und vergleichen Sie die beiden Kurven!
5. Ermitteln Sie graphisch aus der gemessenen Kennlinie die Steilheit S (Tabelle 4)!
6. Berechnen Sie die Steilheit S nach (14)!
7. Zeichnen Sie die graphisch und rechnerisch ermittelte Steilheit in das Diagramm 3 und vergleichen Sie die beiden Kurven!

4.4 Ausgangskennlinienfeld

Es wird weiterhin die Schaltung nach Bild 11 benutzt.

Messen Sie den Drainstrom I_D für die in Tabelle 3 angegebenen Werte von U_{DS} und U_{GS} ! Beginnen Sie mit den kleinsten Werten von U_{DS} , damit die Temperatureinflüsse infolge „Aufheizens“ des FET geringer sind! Legen Sie die Drainspannung über einen Taster nur so lange an den Transistor, wie zur Einstellung und Ablesung der Messgeräte notwendig!

Zeichnen Sie die Kennlinienschar in das Diagramm 2!

Ermitteln Sie graphisch den Innenwiderstand R_i gemäß den Tabellen 5 und 6. Stellen Sie die Werte aus Tabelle 5 in Diagramm 4 dar!

4.5 Dynamische Bestimmung der Steilheit

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 12 auf! Der Kondensator stellt einen wechselstrommäßigen Kurzschluss dar. Er ist in das Steckbrett fest eingebaut. Das Messgerät GL 161 wird nacheinander zur Kontrolle von $U_{gs} = 10\text{mV}$ und zur Messung von U_r benützt.

Die Draingleichspannung $U_{DS} = 10\text{V}$ ist bei der gesamten Messung konstant zu halten. Stellen Sie am Sinusgenerator GL 141 bei der Frequenz 2kHz die Amplitude so ein, dass das mV-Meter GL 161 $U_{gs} = 10\text{mV}$ anzeigt! Der Drainwechselstrom I_{ds} wird aus dem Spannungsabfall U_r an $R = 100\Omega$ ermittelt. Nach (11) ergibt sich

$$S / \text{mS} = U_r / \text{mV} \quad (17)$$

1. Ermitteln Sie die Steilheit S nach Tabelle 4!
2. Tragen Sie die Ergebnisse in Diagramm 3 ein und vergleichen Sie die einzelnen Kurven!

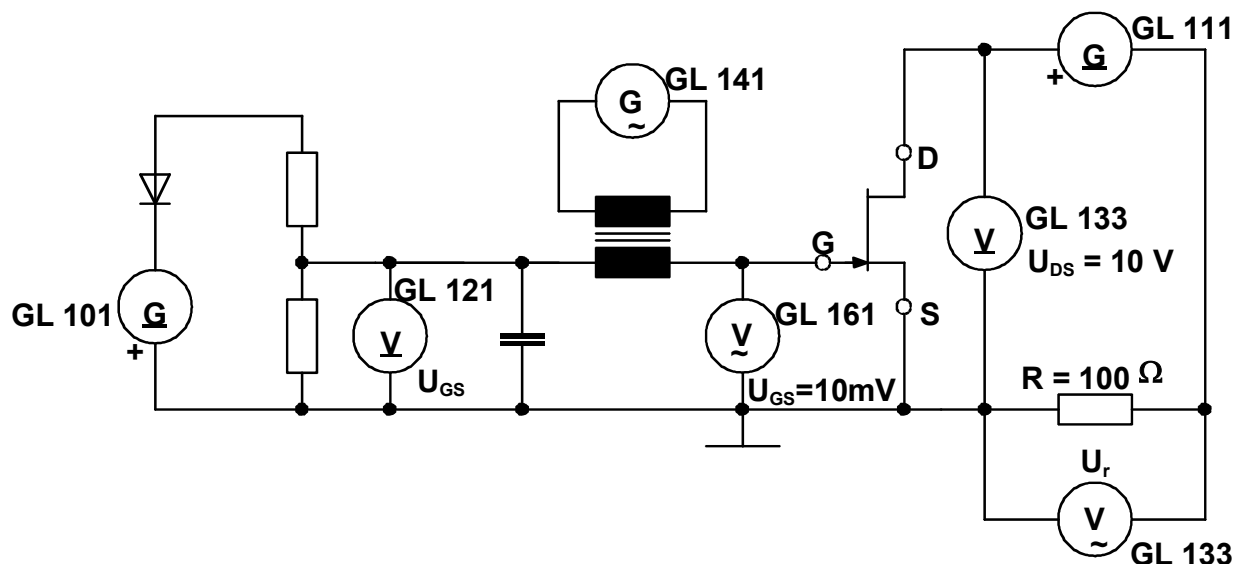


Bild 11 Schaltung zur dynamischen Steilheitsmessung

4.6 Dynamische Bestimmung des Innenwiderstands

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 12 auf! Das Vielfachmessgerät GL 133 wird nacheinander zur Kontrolle von U_{DS} und U_{ds} benutzt. Die Messfrequenz ist weiterhin 2kHz.

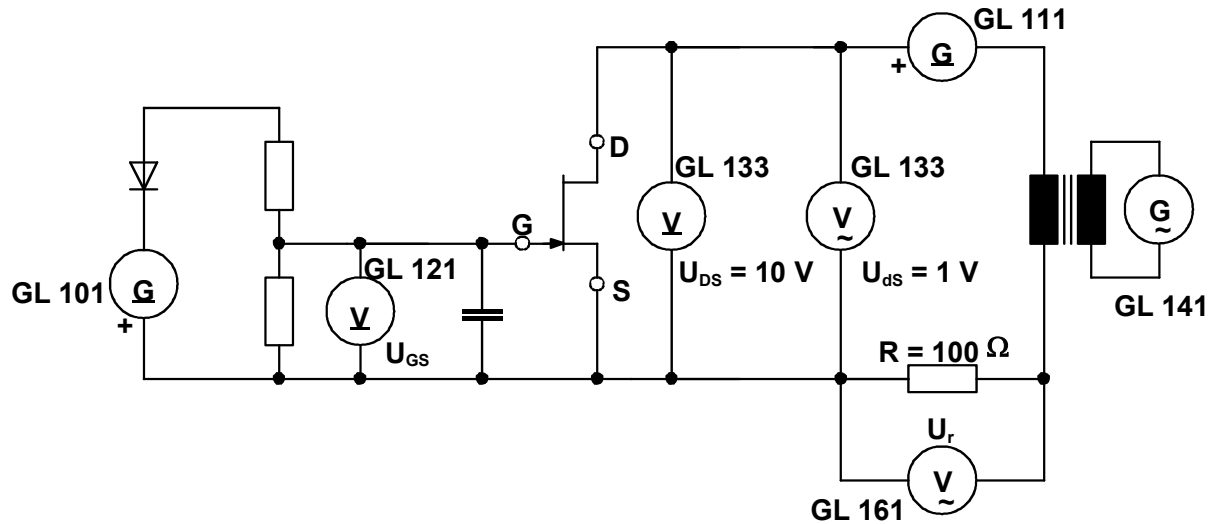


Bild 12 Schaltung zur dynamischen Innenwiderstandsmessung

Die Ausgangsspannung des Generators GL 141 wird so eingestellt, dass der Spannungsmesser GL 133 $U_{ds} = 1V$ anzeigt. Nach (12) ist

$$R_i / k\Omega = \frac{100}{U_r / mV} \quad (18)$$

1. Tragen Sie die Messwerte in Tabelle 6 ein!
2. Vergleichen Sie die Messwerte mit den aus dem Ausgangskennlinienfeld graphisch ermittelten Werten von R_i !

4.7 Bestimmung des Durchgriffs

Berechnen Sie nach Tabelle 6 und Gleichung (9) den Durchgriff D aus den dynamisch gemessenen Werten von S und R_i !

Tabelle 1 Charakteristische Parameter

$I_{DSS} =$	mA	$U_p =$	V	K =	mA/V ²
-------------	----	---------	---	-----	-------------------

Tabelle 2 Steuerkennlinie $I_D(U_{GS})$ für $U_{DS} = 10V$

U_{GS}/V	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5
nach (2)								
Messung								

Tabelle 3 Ausgangskennlinien $I_D (U_{DS}, U_{GS})$

U_{DS}/V	U_{GS}/V					
	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-3
0,5						
1						
1,5						
2						
3						
4						
6						
10						
15						
20						

Tabelle 4 Steilheit S/mS für $U_{DS} = 10V$

U_{GS}/V	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5
nach (14)								
graphisch								
Messung								

Tabelle 5 Innenwiderstand R_i/Ω im ohmschen Bereich

U_{GS}/V	U_{DS}/V					Verfahren
	0	0,5	1	1,5	2	
0						graphisch aus Diagramm 2
	0	0,25	0,5	0,75	1	
-2						graphisch aus Diagramm 2

Tabelle 6 Innenwiderstand und Durchgriff für $U_{DS} = 10V$

U_{GS}/V	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-3
U_r/mV						
$R_i/k\Omega$ aus dynamischer Messung						
$R_i/k\Omega$ graphisch aus Diagramm 2						
D nach (9)						

Diagramm 1 Steuerkennlinie

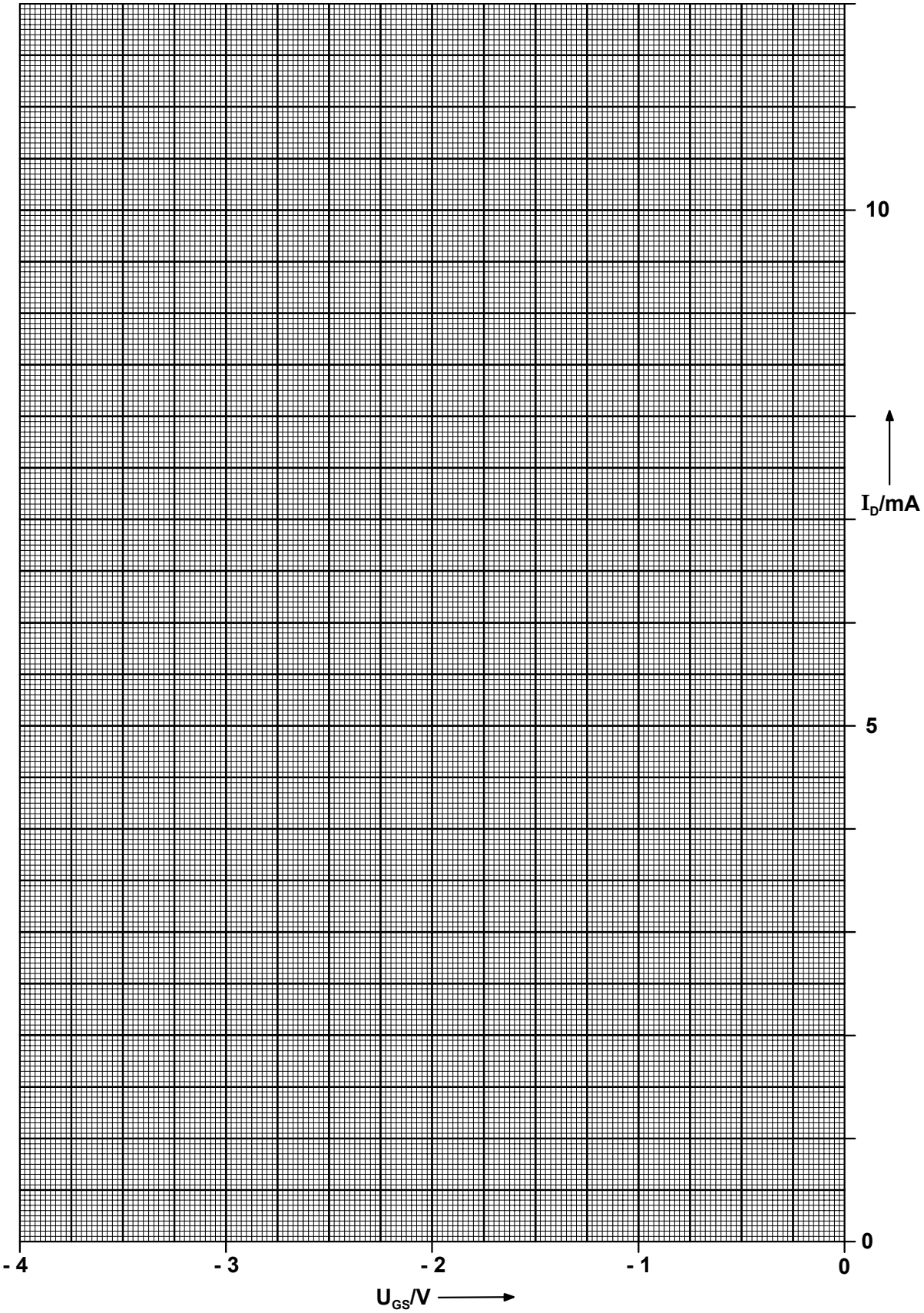


Diagramm 2

Ausgangskennlinienfeld

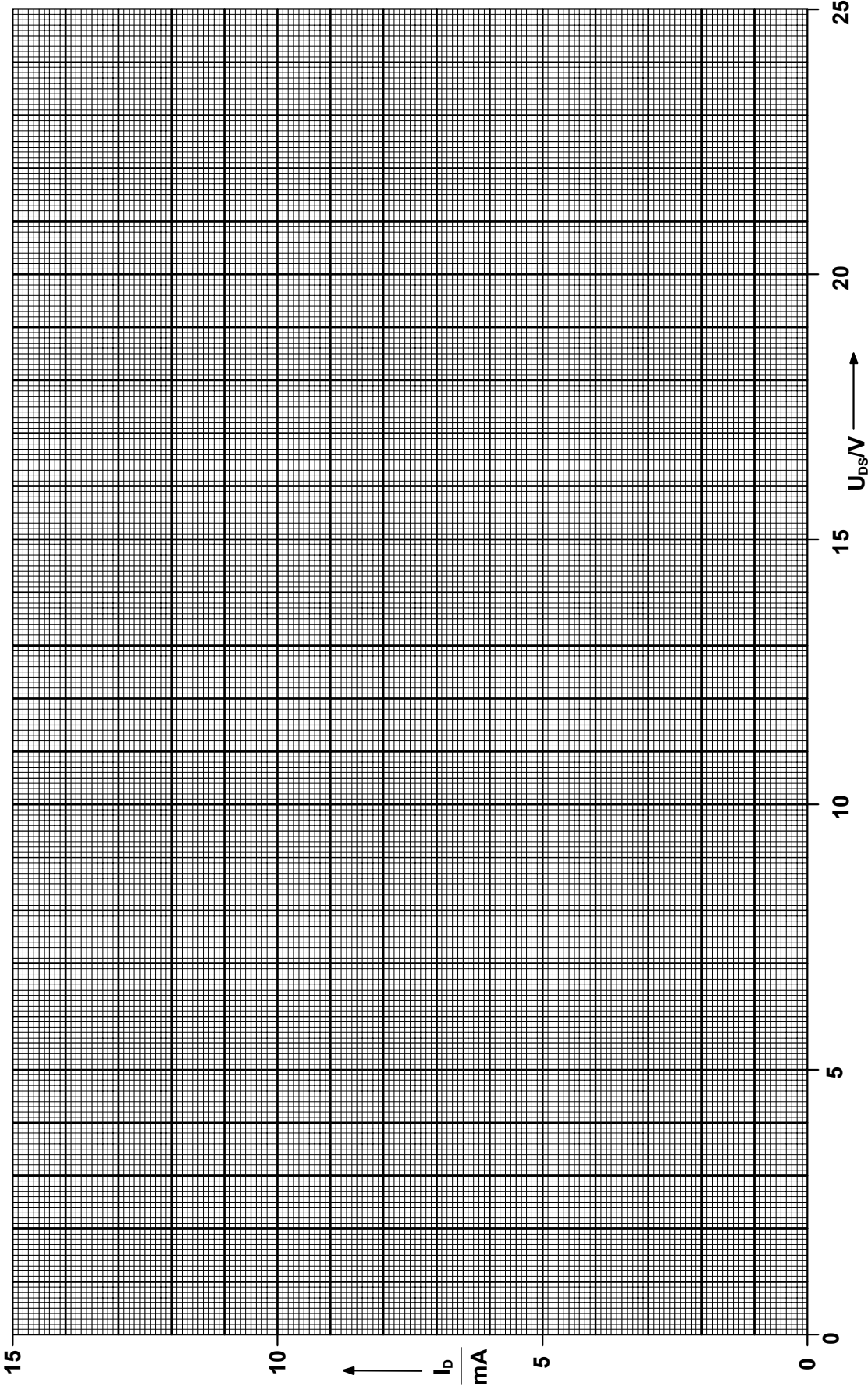


Diagramm 3 Steilheit bei $U_{DS} = 10V$, $f = 2kHz$

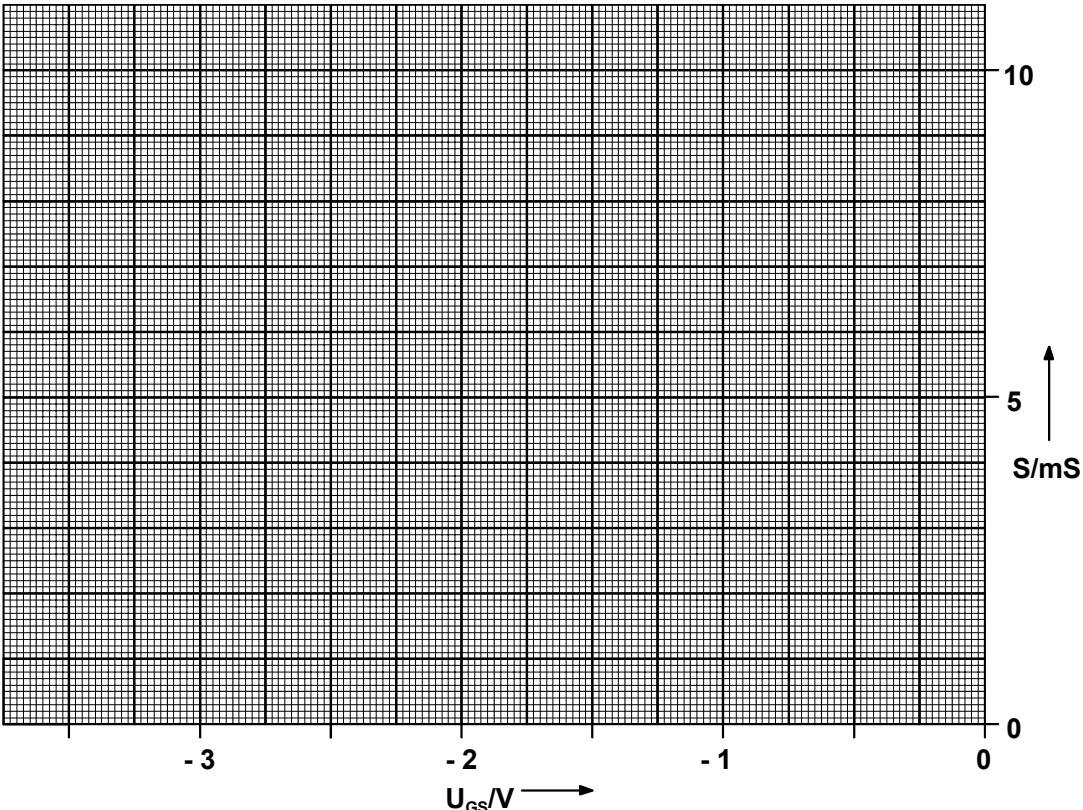


Diagramm 4 Innenwiderstand im ohmschen Bereich

