Anzahl Lösungsbogen

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim

Klausur EL4 – SS2013 – Realer Operationsverstärker, Thyristor

T2ELA2702.1 EL4 (MA-TEL11CAT)

Fakultät für **Technik**

Studiengang **Elektrotechnik Mannheim** Datum: 2013-06-17

Studierende/r
Name _____ Matrikel-Nr. _____

Kurs _____ **Sem.** _____ **Dozent** Dipl.-Ing. FH Rainer Bayer

Hilfsmittel Skript, Taschenrechner **Bearbeitungszeit** 90 min

Bewertung Maximale Punktzahl _____ Erreichte Punktzahl _____

Note _____ Datum / Signum _____

Anmerkungen: _____

Aufg.	Thema	Blatt	Punkte max.	Punkte erzielt	Anmerkungen
1	Realer OP – Endliche Gleichtaktunterdrückung *CMMR*	2	**18**		
2	Realer OP – Endlich Eingangsströme I_B; I_{OS}	3	**8**		
3	Realer OP – Kompensation Eingangsoffsetspannung U_{OS}	4	**11**		
4	Realer OP – Stabilität, Verstärkung und Bandbreite	5	**11**		
5	Thyristor	6–7	**12**		
(1–4)	Realer OP – Datenblattauszüge	8	**./.**	./.	
Σ			**60**		

1 Realer OP – Endliche Gleichtaktunterdrückung *CMRR* / 18

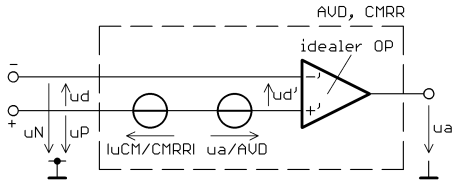


Abb. 1–1
Ersatzschaltbild (ESB) des realen OPs

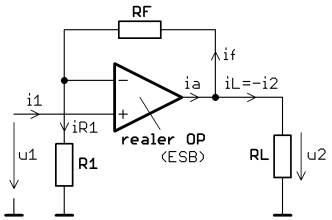


Abb.1–2
Schaltung

m ist die nominale Verstärkung u_2/u_1 der Schaltung in Abb. 1–2 bei **idealem** OP.

Für den realen OP mit dem ESB nach Abb. 1-1 und $A_{VD} \to \infty$ erhält man:

$$u_2 = \left(u_1 + \frac{u_{CM}}{|CMRR|}\right) \cdot m \quad \text{(Gl. 1)}$$

a) Ermitteln Sie: / 05
   1. $\{u_P; u_N\} = f(\{m; u_1; u_2\})$ (Gl. 2–1; 2–2) 02
   2. $u_{CM} = f(\{u_P; u_N\})$ (Gl. 2–3) 01
   3. $u_2 = f(\{u_1; m; CMRR\})$ (Gl. 3) 02

b) Welche Aussage kann über das Vorzeichen von *CMRR* getroffen werden? Begründen Sie Ihre Antwort. / 01

c) Entwerfen Sie eine **Prinzipschaltung** für die Kompensation der Abweichung. / 03

d) Es ist $m = 100$ und $u_1 = U_1 = 50$ mV. OP TL08x (Datenblattauszüge s. Blatt 8). *CMMR*: Worst-Case-Wert. Behalten Sie die Zwischenergebnisse im Taschenrechner! / 07
   1. Berechnen Sie die absolute Abweichung $|\Delta E|$ von u_2 in Volt. 02
   2. Berechnen Sie die relative Abweichung $|e|$ von u_2 in %. 02
   3. Berechnen Sie den erforderlichen garantierten Wert *CMRR** eines OPs in dB, wenn gefordert wird: max($|e^*|$) = 0,01%. 03

e) u_1** ist nun eine harmonische Schwingung mit der Frequenz f**, die ca. 100 mal höher ist als die Frequenz f, mit der das *CMRR* für das Datenblatt ermittelt wurde. Welche Aussage lässt sich dann über den Betrag von *CMMR*** treffen? / 02

2 Realer OP – Endliche Eingangsströme I_B; I_{OS} / 08

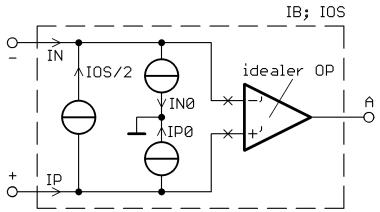


Abb. 2–1
Ersatzschaltbild (ESB) des realen OPs

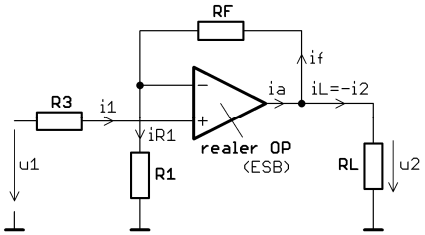


Abb. 2–2
Schaltung

m ist die nominale Verstärkung u_2/u_1 der Schaltung in Abb. 2–2 bei **R3 = 0** und **idealem** OP.

Für den realen OP mit dem ESB nach Abb. 2–2 und $I_B = (I_{P0} + I_{N0}) / 2$ erhält man:

$$u_2 = u_1 \cdot m \pm |I_B|\left(\mathrm{Rf} - \mathrm{R3} \cdot m\right) \pm \frac{|I_{OS}|}{2}\left(\mathrm{Rf} + \mathrm{R3} \cdot m\right) \quad \text{(Gl. 1)}$$

a) Geben Sie an, welcher Anteil der beiden Klemmenströme $\{I_P; I_N\}$ prinzipiell **nicht** kompensiert werden kann. / 03

Begründen Sie Ihre Antwort, indem Sie kurz erläutern, wofür die Stromgrößen I_B und I_{OS} stehen, welche Eigenschaften der OP-Eingangsstufe sie modellieren und was über ihr Vorzeichen gesagt werden kann.

b) Zeigen Sie anhand einer Bestimmungsgleichung (Gl. 2), wie eine Kompensation in der Schaltung nach Abb. 2–2 möglich ist. Substituieren Sie dazu $m = f(\mathrm{R}_{...})$. / 03

c) Die Werte von I_B und $|I_{OS}|$ im Datenblatt sind für $\vartheta_a = +25°\mathrm{C}$ gültig. Womit ist bei einer Erhöhung der Umgebungstemperatur zu rechnen? Wirkt sich das auf die Kompensation aus? Begründen Sie Ihre Antwort. / 02

3 Realer OP – Kompensation der Offsetspannung U_{OS} / 11

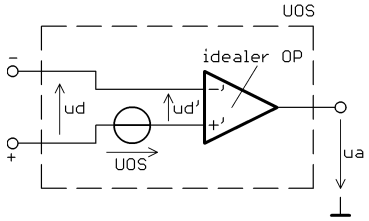


Abb. 3–1
Ersatzschaltbild (ESB) des realen OPs

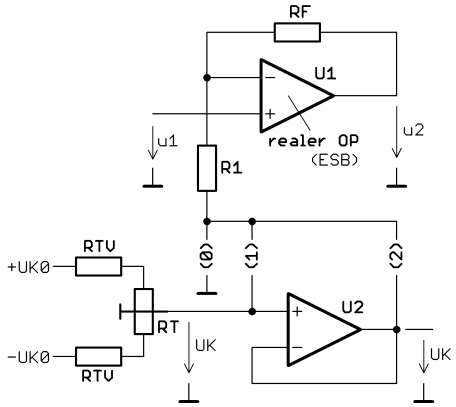


Abb.3–2:
Verbindung (0): ohne Kompensation von U_{OS}.
Erzeugung der Kompensationsspannung U_K mit Spannungsteiler direkt: Verbindung (1), mit nachgeschaltetem Spannungsfolger U2: Verbindung (2)

m ist die nominale Verstärkung u_2/u_1 der Schaltung in Abb. 3–2 bei **idealem** OP.

a) Verbindung (0). Ermitteln Sie: / 04
   1. (Gl.1) $m = f(\mathrm{R}_{...})$ (01)
   2. (Gl. 2) $u_2 = f(\{u_1; U_{OS}; m\})$; trennen Sie nach dem erwünschten Signalanteil $u_{2,S}$ und dem durch U_{OS} verursachten Signalanteil $u_{2,OS}$ (02)
   3. (Gl. 3) $U_K = f(\{U_{OS}; m\})$ (01)

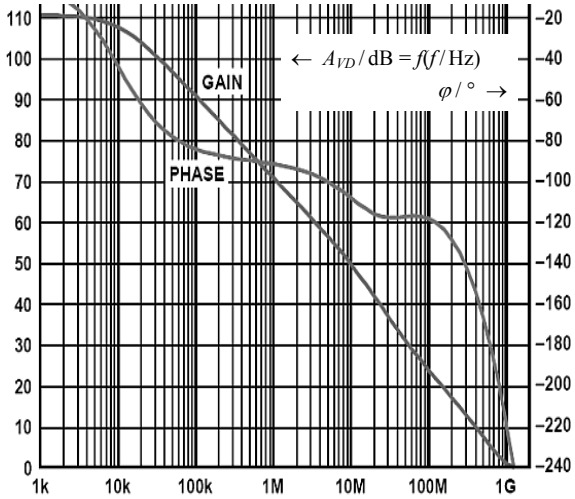
b) Erläutern Sie kurz, warum für eine Kompensation Verbindung (1) **ungeeignet** ist, der Einsatz des Spannungsfolgers U2 durch Verbindung (2) Abhilfe schafft und U_{OS2} von U2 in der Praxis keine Rolle spielt. / 03

c) Verbindung (2). RT = 500 Ω; $m = 10$; $|U_{K0}| = |U_B| = 15$ V. Die Betriebsspannungen U_B sind auf ±2% stabilisiert. OP: uA741 (Datenblattauszüge s. Blatt 8). / 04
   1. Berechnen Sie die Werte von RTV für den Worst-Case-Fall: U_{OS} soll, mit einem zusätzlichen Faktor von 4 versehen, durch Abgleich mit RT noch kompensiert werden können. (03)
   2. Erläutern Sie, wie Sie den Abgleich bei der ersten Inbetriebnahme durchführen. (01)

4 Realer OP – Stabilität, Verstärkung und Bandbreite / 11

Die Abb. unten zeigt den Bode-Plot eines OPs, der für ein rein-reelles Gegenkopplungsnetzwerk k bei Spannungsrückkopplung untersucht werden soll.

Tragen Sie Hilfslinien in das Diagramm ein, sodass erkennbar ist, wo Sie die gesuchten Werte ablesen!



a) Ist der OP unity-gain-stabil? Begründen Sie Ihre Antwort. / 02

b) 1. Wie groß ist die erforderliche Mindestverstärkung A_2 in dB bei einer Phasenreserve von $\varphi_{m2} = 45°$? Wie groß ist dann die Bandbreite B_2? / 06 (02)

2. Wie groß ist ist die Phasenreserve φ_{m3} bei einer Verstärkung von $|A_3| = 100$ (als Zahl)? Welchen Wert hat die Bandbreite B_3? (02)

3. Ein invertierender u/u-Verstärker soll die Bandbreite $B_4 = 7$ MHz (–3 dB) besitzen. Welche Betriebsverstärkung A_4 (als Zahl) ist mindestens erforderlich? (02)

c) Die erforderliche Mindestverstärkung wird unterschritten, der OP „schwingt“. Welche ungefähre Frequenz f_5 haben diese Schwingungen? / 01

d) Die Datenblattangaben gelten für parasitäre Lastkapazitäten von wenigen pF. Wie verändert sich die Phasenreserve bei zunehmender Lastkapazität C_L? / 02

5 Thyristor / 12

Typ: BT151-500R; Thyristorschaltung mit Horizontalsteuerung, Abb. 5-1.

u_1: Sinus-Wechselspannung 230 V / 50 Hz.

Die Sperrschichttemperatur beträgt:
ϑ_j = [–25°; +75°C].

Datenblattauszug Tab. 5–1; Abb. 5–2 auf dem Folgeblatt. Diagramme: tragen Sie Hilfslinien für die von Ihnen ausgelesenen Werte ein!

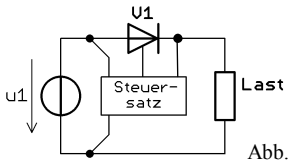


Abb. 5–1

a) Wie groß ist der prinzipiell mögliche Bereich des Zündwinkels (Steuerwinkels) α? / 01

b) Für welche Nullkippspannung (Break-Over Voltage) $U_{BO(0)}$ muss V1 mindestens ausgelegt sein? / 01

c) Für welche Sperrspannung U_R muss V1 bei ohmscher Last ausgelegt sein? / 01

d) Geben Sie den Gatestrom I_G an, der mindestens fließen muss, damit der Bereich des „sicheren Zündens“ für alle Exemplare erreicht wird. / 01

e) Nach dem Zünden beginnt ein Durchlassstrom I_D zu fließen. Bis zu welchem Mindestwert von I_D muss der Zündimpuls andauern, damit alle Exemplare dieses Typs sicher zünden? Wie nennt man diesen Strom (Bezeichnung und Formelzeichen)? / 01

f) Auf welchen Wert muss der Durchlassstrom I_D absinken, damit alle Exemplare dieses Typs sicher in den Blockierzustand schalten? Wie nennt man diesen Strom (Bezeichnung und Formelzeichen)? / 01

g) 1. Erweitern Sie Abb. 5–1 durch eine TSE-Beschaltung („Snubber-Netzwerk“). / 03 (01)

2. Warum ist diese Beschaltung vor allem bei induktiver Last erforderlich? (01)

3. Auf welchen Wert muss der „Snubber“ die Anstiegsgeschwindigkeit $du_D(t)/dt$ begrenzen, damit kein Exemplar dieses Typs unerwünscht zündet? Der Innenwiderstand des Gate-Anschlusses im Steuersatz ist ≤ 100 Ω. (01)

h) Ermitteln Sie die **maximale** Verlustleistung $P_{T,max}$ von V1, wenn die Steuerleistung unberücksichtigt bleibt. / 03

$U_{T(TO)}$ = 1,06 V; r_T = 35 mΩ; RLast = 50 Ω (ohmsch).

– Datenblattauszug auf dem Folgeblatt –

Tab. 5–1; Abb. 5–2

Table 5. Characteristics
T_j = 25 °C unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Static characteristics						
I_{GT}	gate trigger current	V_D = 12 V; I_T = 100 mA; see Figure 8				
		BT151-500L	-	2	5	mA
		BT151-500R	-	2	15	mA
		BT151-650L	-	2	5	mA
		BT151-650R	-	2	15	mA
		BT151-800R	-	2	15	mA
I_L	latching current	V_D = 12 V; I_{GT} = 100 mA; see Figure 10	-	10	40	mA
I_H	holding current	V_D = 12 V; I_{GT} = 100 mA; see Figure 11	-	7	20	mA
dV_D/dt	rate of rise of off-state voltage	V_{DM} = 0.67 × $V_{DRM(max)}$; T_j = 125 °C; exponential waveform; see Figure 12				
		R_{GK} = 100 Ω	200	1000	-	V/µs
		gate open circuit	50	130	-	V/µs

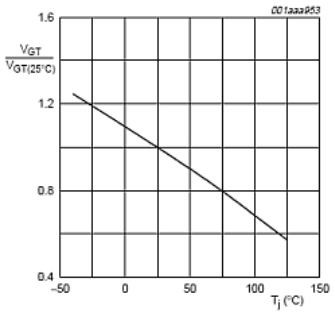


Fig 7. Normalized gate trigger voltage as a function of junction temperature

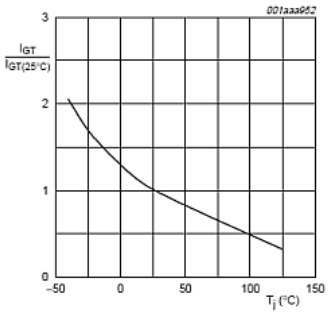


Fig 8. Normalized gate trigger current as a function of junction temperature

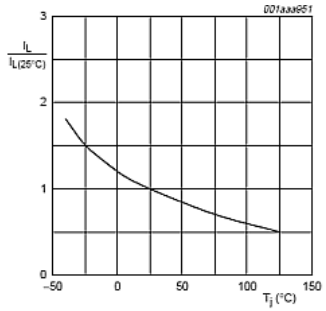


Fig 10. Normalized latching current as a function of junction temperature

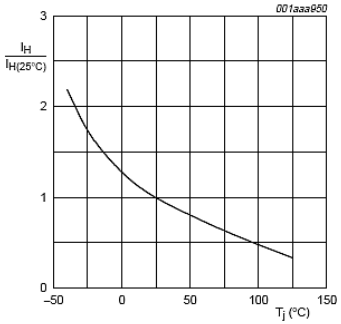


Fig 11. Normalized holding current as a function of junction temperature

Datenblattauszüge OPs

Parameter	BJT-Input **uA741**				JFET-Input **TL08x**			
(ϑ_a = +25°C)	min	typ	max	unit	min	typ	max	unit
Input Bias Current $I_B = (I_{P0} + I_{N0}) / 2$		80	500	nA		0,03	0,4	nA
Input Offset Current $\lvert I_{OS}\rvert = \lvert I_{P0} - I_{N0}\rvert$		20	200	nA		0,05	0,2	nA
Input Offset Voltage $\lvert U_{OS}\rvert$		1	6	mV		3	15	mV
Large Signal Differential Amplification A_{VD}	20	200		V/mV	25	200		V/mV
Common Mode Rejection Ratio *CMRR*	70	90		dB	70	86		dB