

PLL mit dem Schaltkreis 4046
VCO, Phasenvergleich, Regelverhalten und Aufbau Frequenzteiler

Studiengang: _____

Datum: _____

Set: _____ Platz: _____

Teilnehmer: _____

Zielstellung

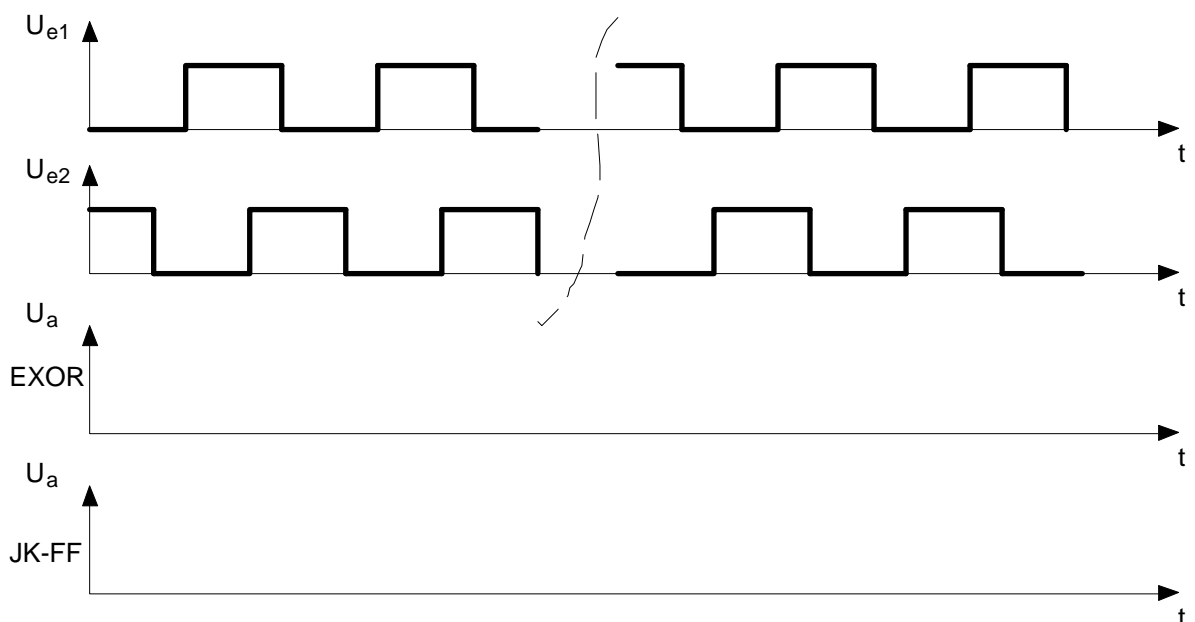
- Einfluß der Bauelemente auf die Dimensionierung eines VCO, Kennlinien von VCO
- Untersuchung der Eigenschaften der Phasenkomparatoren des 4046
- Aufbau einer PLL und Bestimmung von Parametern
- Aufbau von Frequenzteilern mit gebrochen rationalen Teilverhältnissen
- Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors mit PLL

1. Begriffe und Formelzeichen

PLL, VCO, Phasenkomparator, EXOR, JK-Flip-Flop, Mittenfrequenz, Einrastfrequenz, Fangbereich, Haltebereich

2. Versuchsvorbereitung

- 2.1. Wiederholen Sie den Vorlesungsabschnitt "PLL", insbesondere die Abschnitte zu den o.g. Themen. Machen Sie sich mit den in Punkt 1. genannten Begriffen vertraut.
- 2.2. Stellen Sie die Wahrheitstabelle eines EXOR mit zwei Eingängen und eines positiv flankengetriggerten JK-Flip-Flops auf. Tragen Sie in das Taktschema der beiden Eingangsspannungen den Verlauf der jeweiligen Ausgangsspannung ein.



Der Mittelwert der Ausgangsspannung von EXOR und JK-Flip-Flop ist abhängig vom Phasenwinkel zwischen den beiden Eingangsspannungen. In welchem Bereich muß sich der Phasenwinkel jeweils ändern, damit der Mittelwert sich zwischen dem möglichen Minimal- und Maximalwert einstellt?

- 2.3. Die Drehzahl eines Gleichstrommotors soll mit Hilfe einer PLL entsprechend Bild 5 geregelt werden. Dazu ist auf der Motorwelle ein inkrementaler Geber angebracht, der 18 Impulse pro Umdrehung realisiert. Dem Optokoppler ist zur Einstellung eines Tastverhältnisses der Ausgangsspannung von $t_{\text{ein}}/t_{\text{aus}}=1/1$ ein Frequenzteiler von 2/1 nachgeschaltet. Welchen Bereich muß die Frequenz der Referenzspannung überstreichen, wenn die maximale Drehzahl des Motors 13000 min^{-1} beträgt?

3. Versuchsdurchführung und -auswertung

3.0. Vorbemerkungen

Für den Versuch werden C-MOS-Schaltkreise eingesetzt. Diese werden mit einer Versorgungsspannung von $U_s=+12 \text{ V}$ betrieben. Die Beschaltung der Schaltkreise ist in den angegebenen Schaltungen nicht mit eingezeichnet.

[Funktionsgenerator: Units \rightarrow High Level/Low Level]

Die Ausgangsspannungen des Funktionsgenerators sind so einzustellen, daß sie den CMOS-Logikpegeln entsprechen. Dazu sind für **beide** Kanäle die Low-Level auf 0 V und die High-Level auf +10 V einzustellen. Beachten Sie bei der Inbetriebnahme der Schaltungen die Reihenfolge zum Anlegen der Spannungen. Legen Sie immer zuerst die Betriebsspannung und dann erst Signalspannungen an, beim Abschalten achten Sie entsprechend auf die umgekehrte Reihenfolge.

Meßgeräte sind in den angegebenen Meßschaltungen nicht mit dargestellt. Entsprechend den Meßaufgaben sind die Meßgeräte selbst auszuwählen und in die Schaltung einzufügen.

Im Punkt 3.1. wird die Beschaltung des VCO mit den notwendigen Bauelementen festgelegt. Diese Beschaltung ist für den gesamten Versuch notwendig, sie ist in den Schaltungen jedoch nicht mehr mit dargestellt.

3.1. VCO

Der Arbeitsbereich des VCO des C-MOS-Schaltkreises 4046 wird durch die Beschaltung mit zwei Widerständen und einem Kondensator festgelegt. Im folgenden soll der Einfluß der Bauelemente auf den Arbeitsbereich untersucht werden. Bauen Sie dazu die Schaltung nach Bild 1 auf ($U_s=12 \text{ V}$).

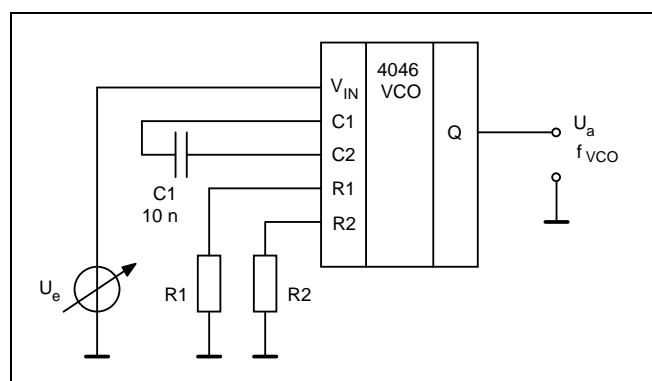


Bild 1: Meßschaltung für den Arbeitsbereich des VCO

Nehmen Sie Meßwerte zur Darstellung der Funktion $f_{\text{VCO}}=f(U_e)$ für den Bereich $0 \text{ V} \leq U_e \leq U_s$ und die folgenden Widerstandskombinationen auf:

- a) $R_1=100 \text{ k}\Omega$ $R_2=\infty$
- b) $R_1=51 \text{ k}\Omega$ $R_2=\infty$
- c) $R_1=51 \text{ k}\Omega$ $R_2=1 \text{ M}\Omega$

Stellen Sie alle drei Funktionen gemeinsam in einem geeigneten Diagramm dar. Erläutern Sie anhand der Darstellung den Einfluß der jeweiligen Widerstände auf die Frequenz der Ausgangsspannung des VCO. Welchen Einfluß hätte eine Änderung des Kondensatorwertes? Bestimmen Sie die Mittenfrequenz des VCO für die Widerstandskombination c).

Im weiteren Versuch wird die Widerstandskombination c) für die Beschaltung des VCO verwendet.

3.2. Phasenkomparatoren

Das Verhalten der beiden Phasenkomparatoren des Schaltkreises 4046 wird untersucht, indem an jeden der beiden Eingänge eine rechteckförmige Spannung mit gleicher Frequenz, z.B. 1 kHz, angelegt wird und die Phasenlage zwischen beiden Spannungen geändert wird. Bauen Sie dazu die Schaltung nach Bild 2 auf.

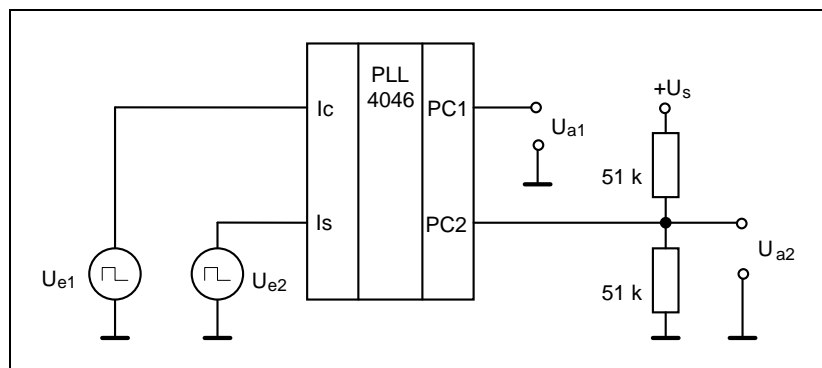


Bild 2: Meßschaltung für die Kennlinien der Phasenkomparatoren

[Funktionsgenerator: Phase → Sync Internal]

Stellen Sie vor Beginn der Messungen für **beide** Kanäle des Funktionsgenerators über die Einstellung ‚Phase → Sync Internal‘ einen definierten Phasenbezug her.

Messen Sie den Mittelwert der Ausgangsspannung an den Ausgängen der beiden Phasenkomparatoren in Abhängigkeit vom Phasenwinkel zwischen U_{e1} und U_{e2} (Kanal 1: $\varphi=0^\circ$, Kanal 2: φ veränderlich). Führen Sie die Messung für den PC1 im Bereich $0^\circ \leq \varphi \leq +360^\circ$ und für den PC2 im Bereich $-360^\circ \leq \varphi \leq +360^\circ$ durch. Stellen die Funktionen $U_a=f(\varphi)$ in einem gemeinsamen Diagramm dar, das für die x-Achse im Bereich $-360^\circ \leq \varphi \leq +360^\circ$ skaliert ist.

Treffen Sie eine Aussage zum Verlauf der Funktion $U_a=f(\varphi)$ des PC1 für negative Phasenwinkel. Skizzieren Sie die zu erwartenden Werte im Diagramm.

3.3. Phasenregelkreise (PLL)

Zur Untersuchung des gesamten Phasenregelkreises wird jeweils einer der Phasenkomparatoren über einen Tiefpass an den Eingang des VCO angeschlossen. An den Eingängen des Phasenkomparators liegt die Ausgangsfrequenz des VCO und eine Referenzfrequenz.

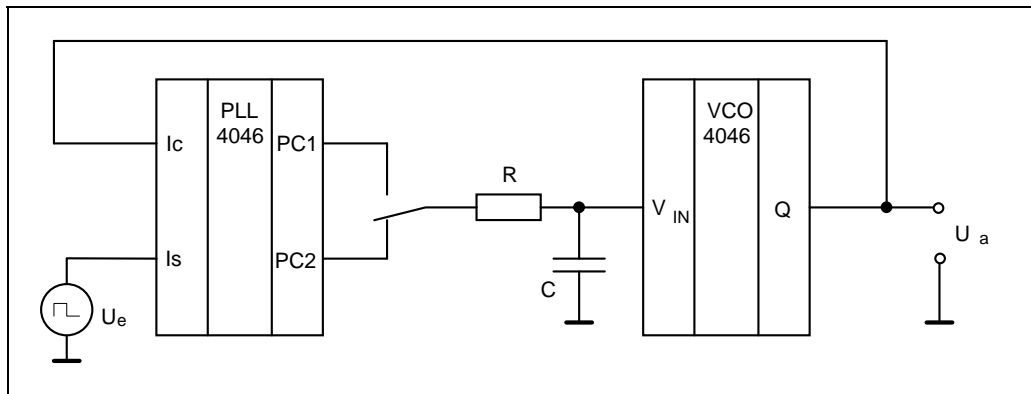


Bild 3: Meßschaltung zur Untersuchung des Phasenregelkreises

3.3.1. Fangbereich, Haltebereich, Einrasten auf Oberwellen

Setzen Sie für den Tiefpass in der Schaltung nach Bild 3 der Reihe nach folgende Bauelemente ein:

- a) $R=10\text{ k}\Omega$ $C=10\text{ nF}$
- b) $R=10\text{ k}\Omega$ $C=0,1\text{ }\mu\text{F}$

Bestimmen Sie für jede Kombination und für beide Phasenkomparatoren jeweils den Fangbereich und den Haltebereich. Stellen Sie die Ergebnisse tabellarisch zusammen.

Setzen Sie für die folgenden Versuchsteile für den Tiefpass die Bauelemente $R=10\text{ k}\Omega$ und $C=0,1\text{ }\mu\text{F}$ ein. Erhöhen Sie die Referenzfrequenz kontinuierlich bis etwa 20 kHz und untersuchen Sie, bei welchen Frequenzen die PLL einrastet. Führen Sie die Untersuchung für beide Phasenkomparatoren durch.

3.3.2. Bleibender Phasenfehler

Ermitteln Sie die Phasenverschiebung zwischen der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung des VCO bei eingerasteter PLL für beide Phasenkomparatoren. Als Bereich für die Frequenz der Eingangsspannung wählen Sie die im Punkt 3.1. ermittelte minimale und maximale Frequenz des VCO. Stellen Sie die Abhängigkeit des Phasenfehlers von der Frequenz der Eingangsspannung $\varphi=f(f_e)$ für beide Phasenkomparatoren in einem geeigneten Diagramm dar.

Fassen Sie als Ergebnis aller durchgeführten Messungen die Eigenschaften und Unterschiede beider Phasenkomparatoren zusammen. Welche Ursache hat der bleibende Phasenfehler?

3.4. Frequenzteiler mit PLL

Durch Erweiterung der PLL mit zwei einstellbaren Teilern entsprechend Bild 4 können Teilverhältnisse nach Gleichung /1/ eingestellt werden.

$$f_a = \frac{N_2}{N_1} f_e \quad /1/$$

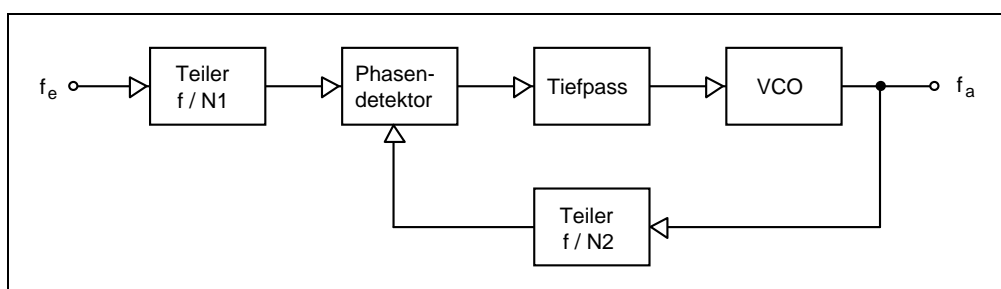


Bild 4: Frequenzteiler / -vervielfacher mit PLL

Erweitern Sie die PLL-Schaltung durch zwei einstellbare Teiler. Als Frequenz der Eingangsspannung wählen Sie $f_e=2$ kHz. Berechnen Sie die Ausgangsfrequenz des VCO für jeweils zwei frei gewählte Teilverhältnisse $N_2/N_1 < 1$ und $N_2/N_1 > 1$ ($1 \leq N \leq 15$). Beachten Sie dabei, daß die Ausgangsfrequenz im Arbeitsbereich des VCO liegen muß. Stellen Sie die gewählten Teilverhältnisse ein, messen Sie die Frequenz der Ausgangsspannung des VCO und vergleichen Sie mit den berechneten Werten.

Treffen Sie eine Aussage zur Stabilität der Ausgangsfrequenz. Messen Sie dazu den Wechselanteil der Eingangsspannung des VCO und begründen Sie die Aussage anhand der in Punkt 3.1. ermittelten Kennlinie.

3.5. Motorregelung mit PLL

Eine mögliche Anwendung der PLL ist eine Motorregelung entsprechend Bild 5. Dabei wird anstelle des VCO ein Gleichstrommotor mit angekoppeltem inkrementalen Geber in den Regelkreis eingesetzt. Die Frequenz, die der Geber liefert und ein Maß für die Drehzahl des Motors ist, wird mit einer Referenzfrequenz verglichen und auf diese eingestellt.

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 5 auf. Der Leistungs-OV muß dabei mit einer bipolaren Spannung von ± 12 V versorgt werden.

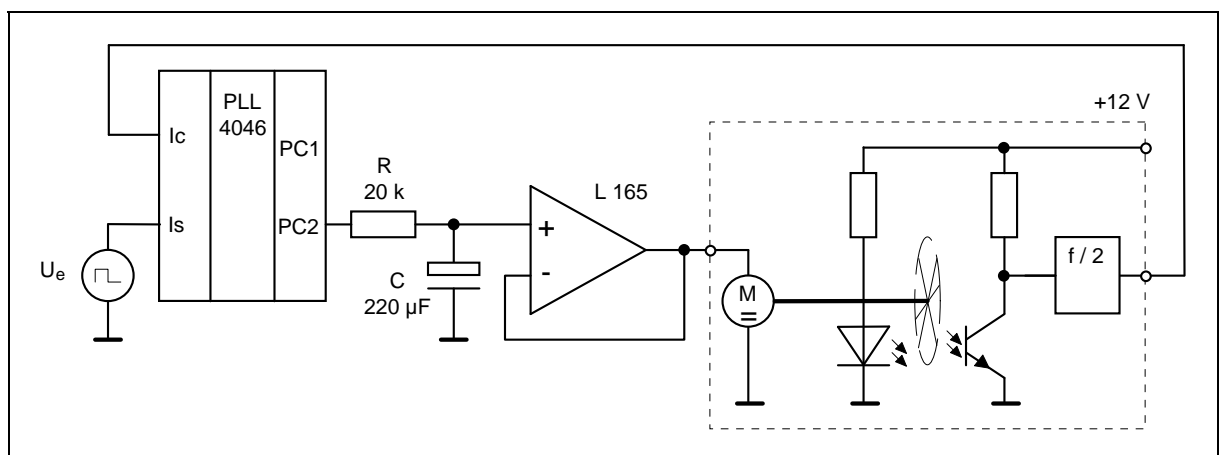


Bild 5: Drehzahlregelung mit PLL

Stellen Sie entsprechend den Überlegungen aus Punkt 2.3. eine solche Frequenz ein, damit sich eine Drehzahl von 1000 min^{-1} und von 8000 min^{-1} am Motor einstellt. Bestimmen Sie jeweils anhand der Motorkenndaten die Drehzahlabweichung. Ändern Sie den Tiefpass so, daß sich die Drehzahlabweichung verringert. Auf welche Parameter der gesamten Regelschaltung wirkt sich diese Änderung aus?