

8.2 LCD-Anzeigen

Eine LCD-Anzeige (LCD = Liquid Crystal Display) besteht grundsätzlich aus einer Flüssigkristallschicht zwischen zwei Glasplatten, die auf beiden Seiten mit dünnen, lichtdurchlässigen Elektroden belegt sind. Flüssigkristalle leuchten nicht selbst, sondern ändern ihren Brechungsindex. Liegt zwischen den Elektroden keine Spannung an, so ist die Flüssigkristallschicht lichtdurchlässig. Sie wird lichtundurchlässig, wenn man eine Spannung anlegt, die höher ist als eine (materialspezifische) Schwellspannung. Um eine solche Anzeige zu betrachten, braucht man eine Fremdbeleuchtung (Außenlicht oder Hintergrundbeleuchtung). Abbildung 8.2.1 zeigt verschiedene grundsätzliche Bauformen, die sich darin unterscheiden, ob sie Licht von hinten nach vorn durchlassen oder auftreffendes Licht reflektieren. Abbildung 8.2.2 veranschaulicht, wie eine LCD-Zelle funktioniert.

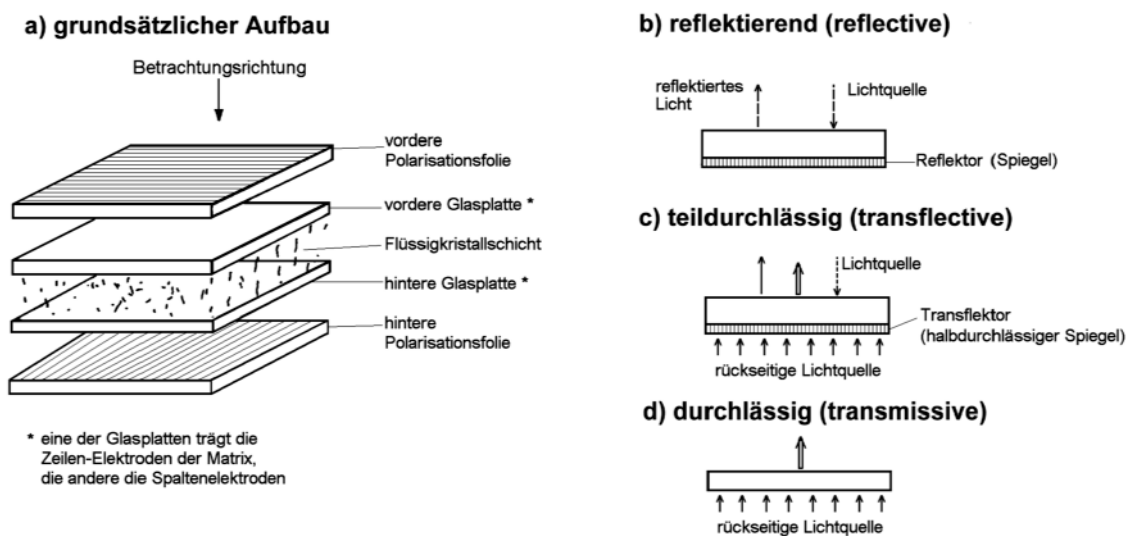


Abbildung 8.2.1 Bauformen von LCD-Anzeigen

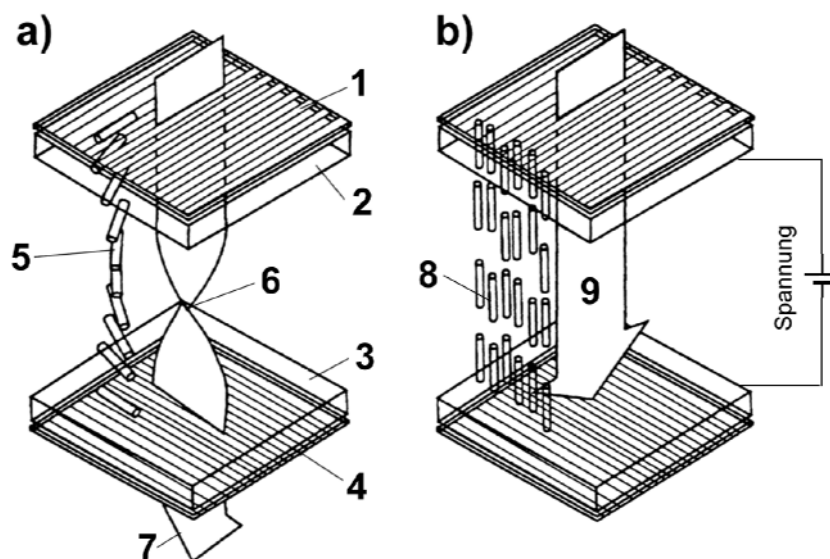


Abbildung 8.2.2 Zur Wirkungsweise der LCD-Anzeige

Erklärung zu Abbildung 8.2.2:

Die Abbildung zeigt eine einzelne Anzeigeposition (Bildpunkt, Segment o. dergl.). 1 - vordere Polarisationsfolie; 2 - vordere Glasplatte (trägt z. B. die Zeilenelektrode); 3 - hintere Glasplatte (trägt z. B. die Spaltenelektrode); 4 - hintere Polarisationsfolie. Die Polarisations Ebenen der Folien 1, 4 sind um 90° gegeneinander verdreht.

- a) keine Spannung an den Elektroden; Anzeige lichtdurchlässig. 5 - die LCD-Moleküle sind nicht ausgerichtet. 6 - die "verdrillten" LCD-Moleküle bewirken, daß das Licht gedreht wird. 7 - somit kann es die Polarisationsfolie 4 passieren. Anzeige erscheint (unter Fremdbeleuchtung) hell.
- b) Spannung an den Elektroden; Anzeige läßt kein Licht durch. 8 - unter dem Einfluß der Spannung richten sich die LCD-Moleküle aus. 9 - da es jetzt keine "Verdrillung" gibt, wird die Polarisations Ebene des Lichts nicht mehr gedreht. Das durch Polarisationsfolie 1 eintretende Licht kann somit nicht durch Polarisationsfolie 4 austreten. Anzeige erscheint dunkel.

Einfache LCD-Anzeigen sind auf das Umgebungslicht angewiesen. Abhilfe: Anzeigen mit eingebauter Beleuchtung (Abbildung 8.2.3). Dabei leuchtet die Lichtquelle die gesamte Anzeige gleichmäßig von hinten aus. Es werden folgende Arten von Lichtquellen eingesetzt:

- Kaltkathodenröhren (Cold Cathode Fluorescent Lamps CCFL ("Leuchtstofflampen")),
- Elektrolumineszenzpaneele (EL),
- Leuchtdioden (LED).

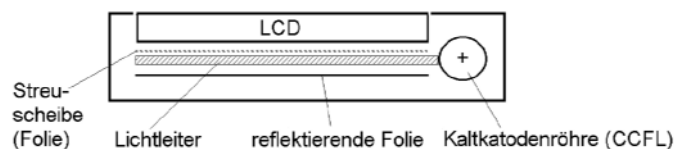
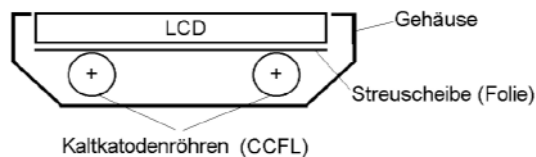
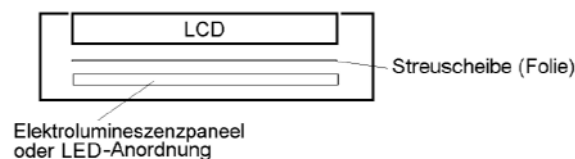
a) CCFL, Kantenbeleuchtung**b) CCFL, Direktbeleuchtung****c) Elektrolumineszenzpaneel (EL)**

Abbildung 8.2.3 Hintergrundbeleuchtung von LCD-Anzeigen

Komplette LCD-Anzeigeeinheiten bestehen aus einzeln steuerbaren Zellen, die durch entsprechend geformte Elektroden gebildet werden (Abbildung 8.2.4). Üblicherweise stehen mehrere einzeln steuerbare Elektroden (Segmente, SEGs) jeweils einer gemeinsamen Rückelektrode (Common Electrode, COM) gegenüber. Abbildung 8.2.5 zeigt, wie der Kontrast einer LCD-Anzeige von der Spannung zwischen den Elektroden abhängt.

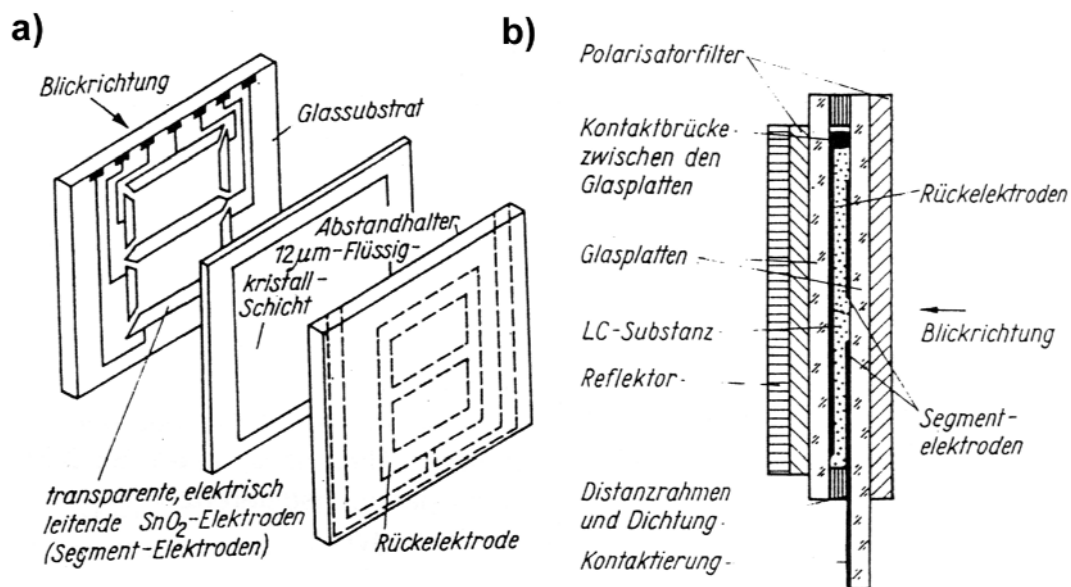


Abbildung 8.2.4 Aufbau einer einfachen 7-Segment-Anzeige: a) Übersicht, b) Querschnitt

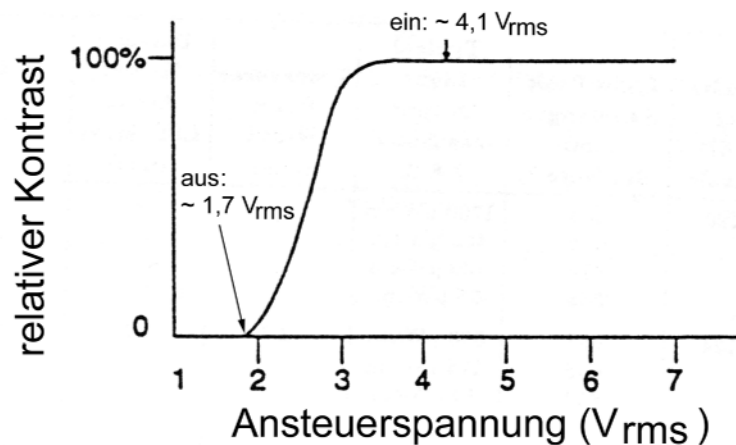


Abbildung 8.2.5 Beispiel einer LCD-Kennlinie: der Kontrast in Abhängigkeit von der Spannung zwischen den Elektroden (nach: Microchip)

Ansteuerung

LED-Anzeigen sind stromgesteuert, LCD-Anzeigen hingegen spannungsgesteuert. Sie müssen *gleichspannungsfrei* angesteuert werden, also mit Wechselspannung. Gleichspannung würde die Flüssigkristallschicht durch Elektrolysevorgänge zerstören.

Hinweis:

Das ist eine langfristige Wirkung. Ein zeitweiliger Gleichspannungsbetrieb (auch über etliche Minuten hinweg), wie er z. B. beim Inbetriebnehmen und Fehlersuchen vorkommen kann, schadet typischerweise nicht.

Der Spannungsverlauf

Man braucht keine Sinusspannung; es ist auch möglich, die Anzeige mit Impulsen anzusteuern. Entscheidend ist der lineare Mittelwert der Spannung. Er muß = 0 sein.

Die statische AC-Ansteuerung

"Statisch" ansteuerbare LCDs haben eine gemeinsame Rückelektrode (COM) und mehrere einzeln ansteuerbare Segmente (SEGs). Ein Segment, das inaktiv (also lichtdurchlässig) sein soll, wird in Bezug auf die gemeinsame Rückelektrode mit gleicher Polarität erregt, ein aktives Segment mit entgegengesetzter Polarität.

So kann man auf Grundlage einer Versorgungsgleichspannung die gewünschte gleichspannungsfreie Ansteuerung gewährleisten. Rückelektrode (COM) und Segment (SEG) werden dabei zwischen beiden Polen der Versorgungsspannung zyklisch umgetastet, und zwar mit einem Duty Cycle von 50%. In der einen Hälfte der Zeit ist COM positiver als SEG (z. B. COM = + 5 V, SEG = 0 V), in der anderen Hälfte ist COM negativer als SEG (z. B. COM = 0 V, SEG = + 5 V) Die Abbildungen 8.2.6 und 8.2.7 zeigen das Prinzip.

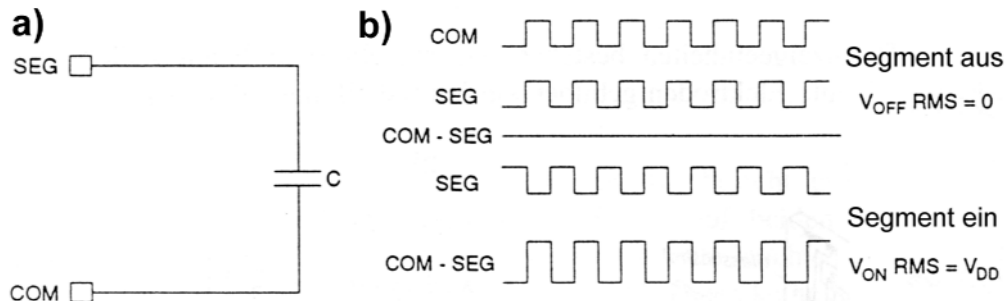


Abbildung 8.2.6 Prinzip der LCD-Ansteuerung (Quelle: Microchip Technology)

Erklärung:

a) - Ersatzschaltung einer LCD-Zelle (= kapazitive Last C); b) - Ansteuerung. Oben: SEG-Erregung = COM-Erregung, also Spannungsdifferenz 0 = kein Kontrast = inaktiv; unten: SEG-Erregung entgegengesetzt zu COM-Erregung, also Spannungsdifferenz = V_{DD} = Kontrast erkennbar = aktiv.

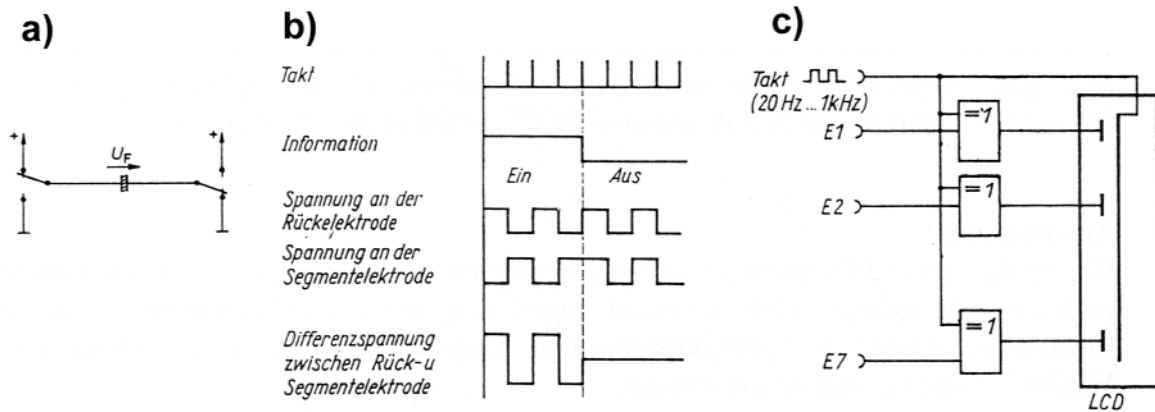


Abbildung 8.2.7 Prinzip der LCD-Ansteuerung aus technischer Sicht. a) Ersatzschaltbild (Wechselschaltung); b) Impulssdiagramm; c) Wechselschaltung mit Antivalenzgattern

Frequenzen:

Die Impulsfrequenzen liegen typischerweise zwischen 40 und 70 Hz (Extremwerte: 25...300 Hz). Obwohl es "nicht so darauf ankommt", sollten die Impulsflanken *Anstiegszeiten* im Bereich weniger μs haben.

Die Multiplexansteuerung

LCD-Anzeigen können, ebenso wie LEDs, nach dem Multiplexprinzip angesteuert werden. Multiplexanzeigen haben mehrere Rückelektroden. Rück- und Segmentelektroden bilden eine matrixförmige Anordnung (Abbildung 8.2.8).

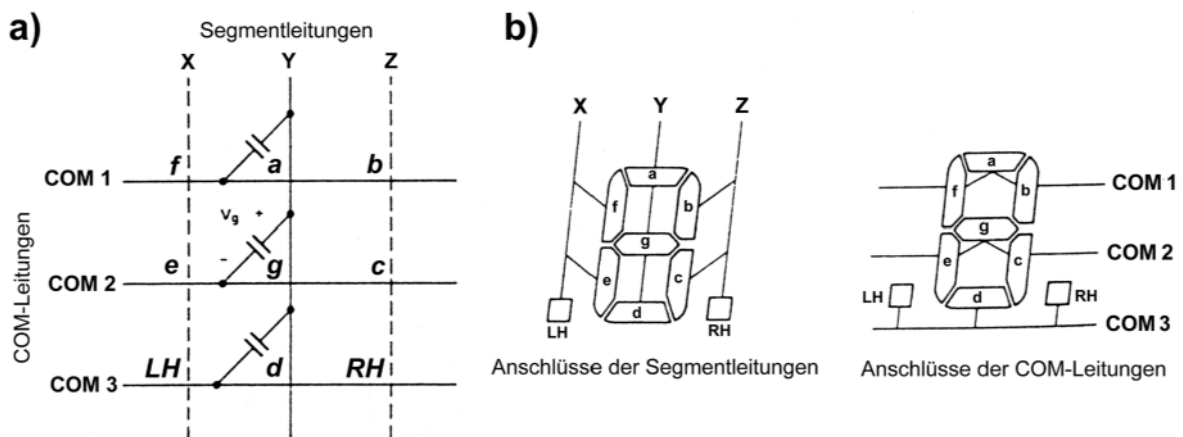


Abbildung 8.2.8 LCD-Multiplexanzeigen. a) Prinzip der Elektrodenanordnung, b) typisches Beispiel einer Siebensegmentanzeige (nach: Intersil)

Betrachten wir Abbildung 8.2.8b: Wenn wir Segment "g" erregen wollen, müssen wir eine Spannung zwischen COM 2 und Segmentleitung Y anlegen. Beispiel: Y positiver (+), COM 2 negativer (-). Damit "e" und "c" nicht ebenfalls aktiviert werden, müßten wir X und Z auch mit dem negativeren Pegel (-) belegen. Was tun wir aber mit COM 1 und COM 3? - Wir können anstellen, was wir wollen - es klappt nicht (Abbildung 8.2.9).

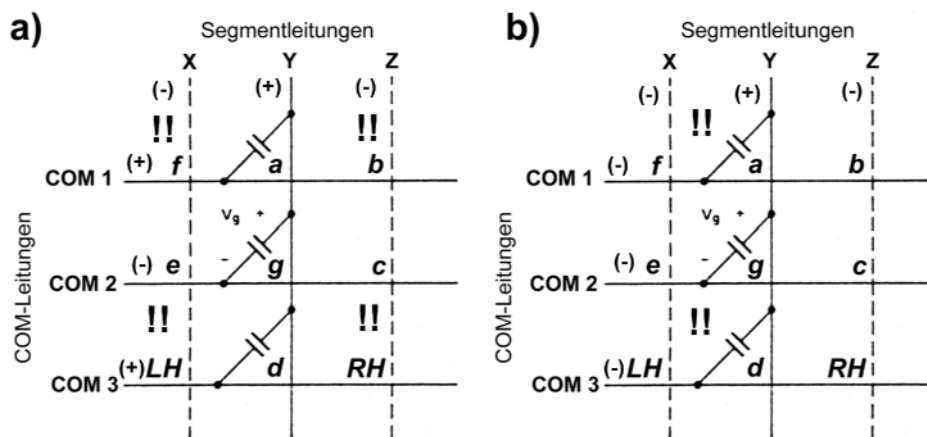


Abbildung 8.2.9 So geht es nicht...

Erklärung:

- wenn wir an COM 1 und COM 3 die positivere Spannung (+) anlegen, hätten wir eine Spannungsdifferenz an den Segmenten "f", "b", "LH" und "RH",
- wenn wir an COM 1 und COM 3 die negativere Spannung (-) anlegen, hätten wir eine Spannungsdifferenz an den Segmenten "a" und "g".

Der Ausweg:

Umtasten zwischen mehreren Spannungspegeln, und zwar so, daß nur im Kreuzungspunkt der jeweiligen SEG- und COM-Leitungen eine bestimmte Schwellspannung überschritten wird. Abbildung 8.2.10 zeigt den einfachsten Betriebsfall mit 3 Spannungspegeln (Triplex-Ansteuerung).

Bauformen

Es gibt keine Einzelanzeigen, die etwa der einzelnen Leuchtdiode vergleichbar wären. LCD-Anzeigen werden in folgenden Ausführungen angeboten:

- anwendungsspezifische Anzeigen. Hierbei haben die Elektroden die Formen der jeweiligen Symbole.
- 7-Segment-Anzeigen,
- 16-Segment-Anzeigen,
- Punktmatrixanzeigen,
- graphische Anzeigen. Das sind Punktmatrixanzeigen mit einem Raster höherer Auflösung, das mehrzeilige Zeichen- oder graphische Darstellungen ermöglicht.

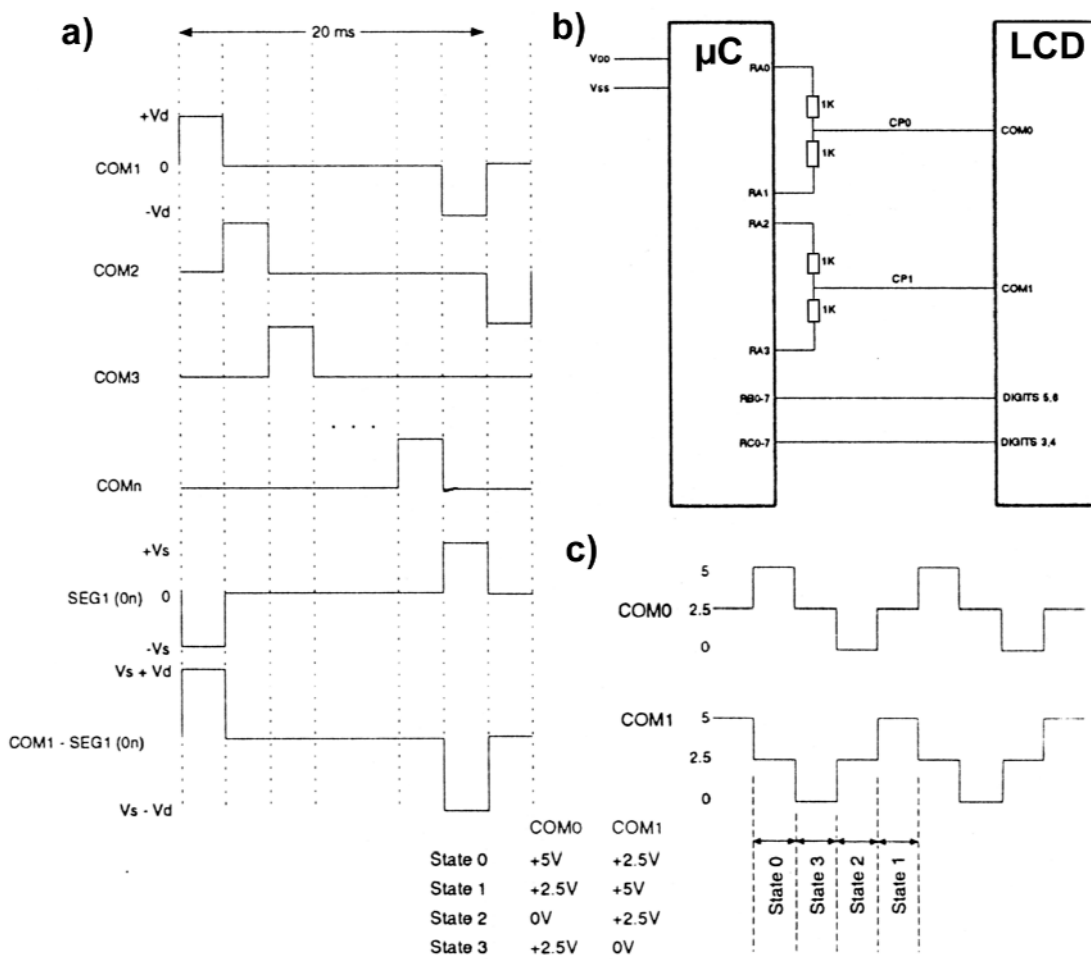


Abbildung 8.2.10 Triplex-Ansteuerung (nach: Microchip)

Erklärung:

a) - grundsätzliche Impulsformen; b) - Erzeugen der symmetrischen Spannungen; c) - Beispiele von Signalen auf COM-Leitungen. Es handelt sich um symmetrische, um einen Mittelwert nach oben bzw. unten mit gleicher Amplitude "ausschlagende" Spannungsverläufe. Die COM-Leitungen werden nacheinander angesteuert, zunächst mit positiven, dann mit negativen Impulsen. Ist ein Segment zu aktivieren, so muß es bei aktivem COM jeweils gegensinnig erregt werden. Abbildung 8.2.10b zeigt, daß man die symmetrischen Spannungen recht einfach mit symmetrischen Spannungsteilern erzeugen kann, die an jeweils zwei CMOS-Ausgangsstufen angeschlossen werden.

Hinweis:

LCD-Flachbildschirme werden mit mehr als 3 Spannungspegeln angesteuert.

8.3 Photodioden und Phototransistoren

8.3.1 Photodioden

Photodioden sind Halbleiterdioden, deren PN-Übergang von Licht getroffen werden kann (sie haben dazu ein Glasfenster im Gehäuse). Ein mit Licht bestrahlter PN-Übergang läßt, auch ohne Anlegen einer Spannung, im geschlossenen Stromkreis einen Strom fließen (photovoltaischer Effekt). Die Photodiode kann in zwei Betriebsweisen eingesetzt werden (Abbildung 8.3.1):

- als Photoelement, also - wie beschrieben - als Stromquelle,
- als in Sperrichtung geschaltete Diode, deren Sperrstrom mit zunehmender Lichteinstrahlung wächst.

Der erzeugte Photostrom bzw. die Zunahme des Sperrstroms liegt im μA -Bereich. Deshalb ist es notwendig, Verstärker nachzuschalten.

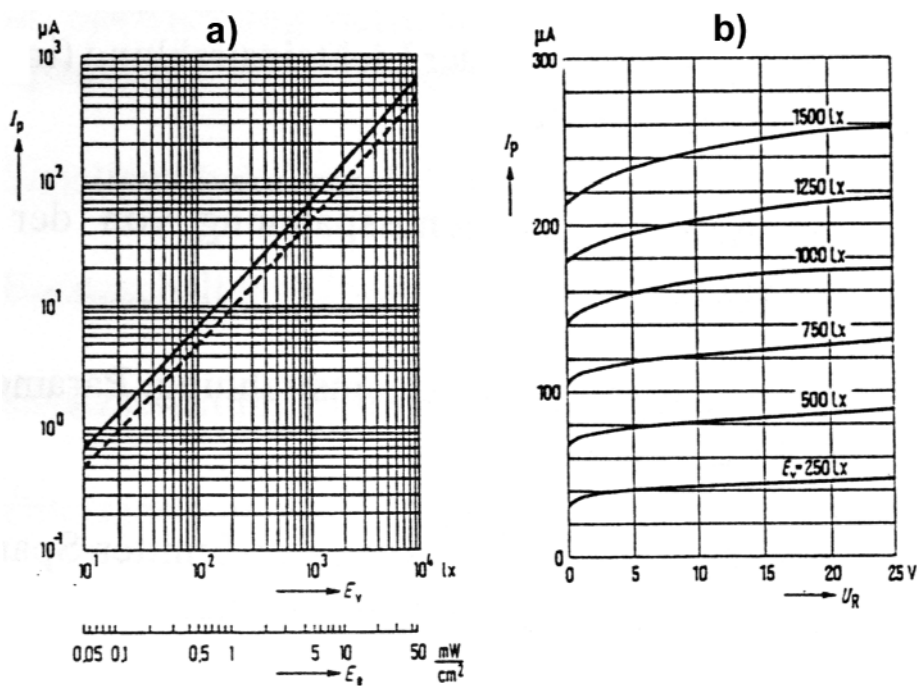


Abbildung 8.3.1 Photodioden-Kennlinien (Siemens)

Erklärung:

a) - Betrieb als Photoelement: der Photostrom I_p in Abhängigkeit von der Lichteinstrahlung, gemessen in Lux und als Energiedichte in mW/cm^2 ; b) - Diodenbetrieb: der Sperrstrom I_R in Abhängigkeit von Sperrspannung U_R und der Lichteinstrahlung.

8.3.2 Phototransistoren

Der Phototransistor ist eine Transistorstruktur, deren Kollektor-Basis-Übergang wie eine Photodiode betrieben wird. Bei Lichteinfall wirkt der erzeugte Photostrom als Basisstrom, so daß - bei entsprechender Beschaltung - ein gemäß dem Stromverstärkungsfaktor stärkerer Kollektorstrom fließen kann (Abbildung 8.3.2). Eine besonders hohe Stromverstärkung wird erreicht, indem man den Phototransistor in eine Darlington-Schaltung einbezieht.

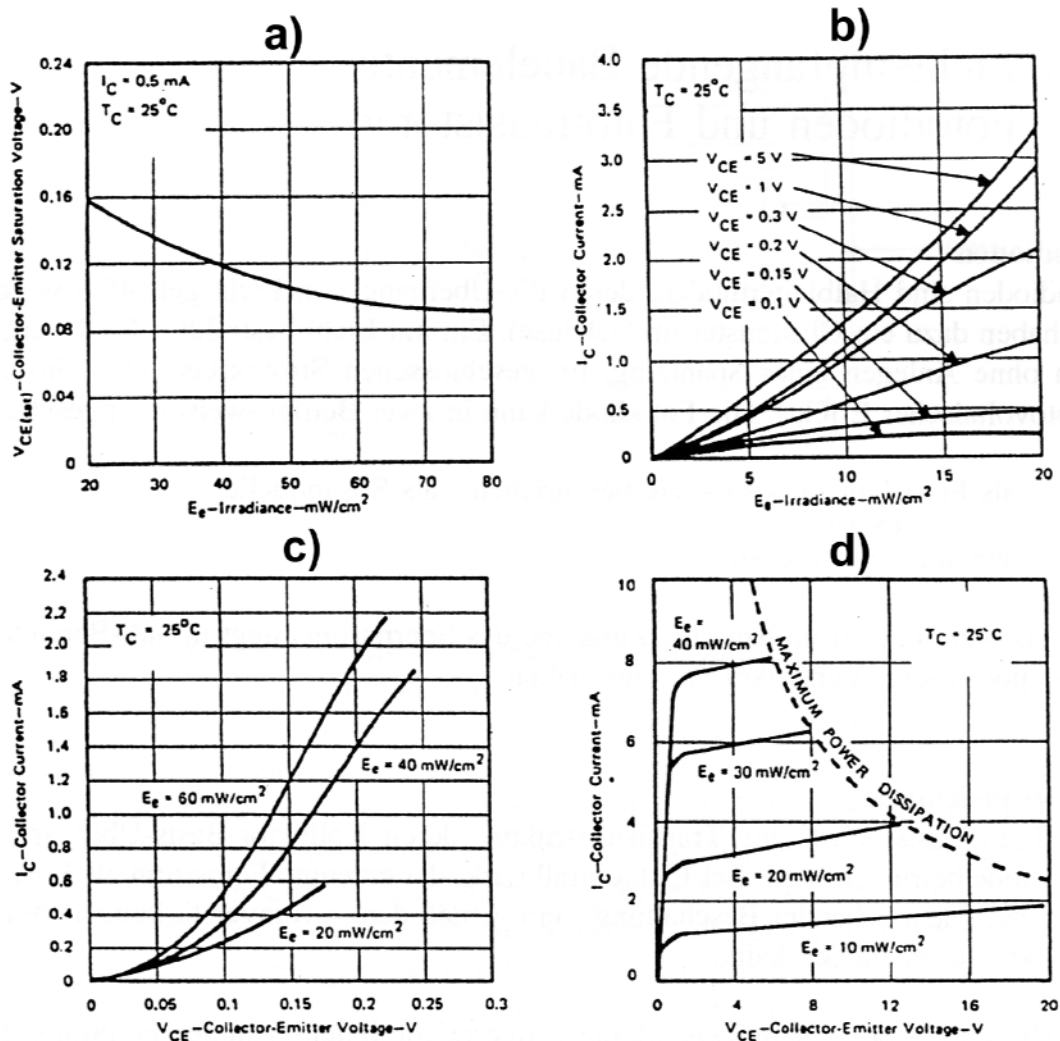


Abbildung 8.3.2 Kennlinien eines Phototransistors (Quelle: Texas Instruments)

Erklärung:

Dargestellt ist, wie Transistorkennwerte von der Lichteinstrahlung (in mW/cm^2) abhängen. Es beschreiben:

- die Abhängigkeit der Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung von der Lichteinstrahlung,
- die Abhängigkeit des Kollektorstroms von der Lichteinstrahlung; Parameter ist die Kollektor-Emitter-Spannung,

- c) den Zusammenhang von Kollektorstrom und Kollektor-Emitter-Spannung bei kleinen Spannungswerten; Parameter ist die Lichteinstrahlung,
- d) die Ausgangskennlinie (einschließlich Verlustleistungshyperbel) mit der Lichteinstrahlung als Parameter.

8.3.3 Grundsaltungen

Abbildung 8.3.3 zeigt typische Grundsaltungen mit Photodioden und -transistoren.

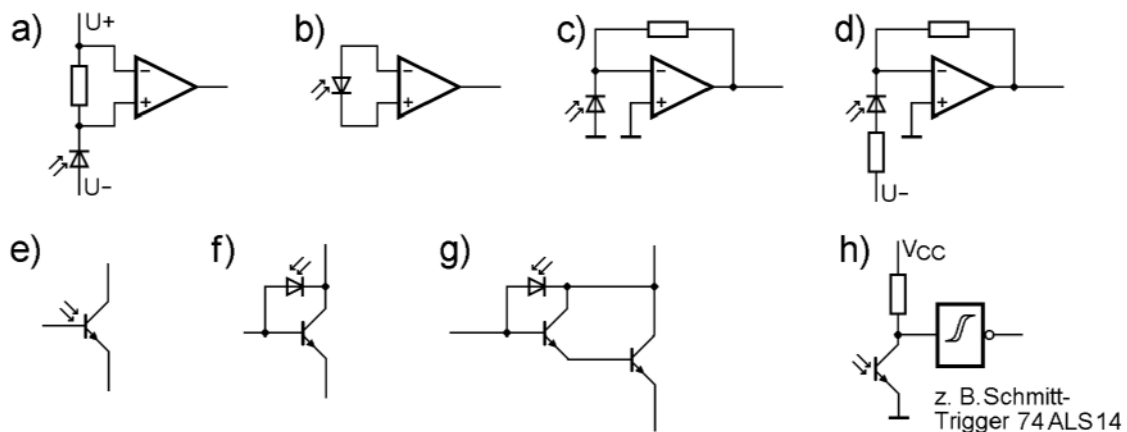


Abbildung 8.3.3 Grundsaltungen mit Photodioden und -transistoren

Erklärung:

- a) Photodiode, in Sperrrichtung betrieben. Achten Sie auf die negative Vorspannung U_- . Der Sperrstrom bewirkt einen Spannungsabfall über dem Widerstand. Diese Spannung wird verstärkt.
- b) Photodiode als Photoelement. Der Photostrom wird verstärkt.
- c) Photodiode als Photoelement mit Operationsverstärker, der als Strom-Spannungs-Wandler geschaltet ist,
- d) in Sperrrichtung betriebene Photodiode mit Operationsverstärker, der als Strom-Spannungs-Wandler geschaltet ist,
- e) Schaltsymbol eines Phototransistors,
- f) Ersatzschaltung eines Phototransistors (mit Photodiode zwischen Kollektor und Basis),
- g) Ersatzschaltung eines Darlington-Phototransistors,
- h) Phototransistor mit nachgeordneter Logikbaustufe.

8.4 Optokoppler und Lichtschranken

Eine Lichtschranke besteht aus Lichtquelle und Lichtempfänger, wobei der Lichtweg auf mechanische Weise (durch ein im Strahlengang befindliches Hindernis) unterbrochen werden kann. Handelsübliche Lichtschranken sind meist Kombinationen aus IR-LEDs und Phototransistoren, die komplette austauschbare Baugruppen bilden. Typische Bauformen sind (1) die Gabellichtschranke und (2) der optische Drehgeber (Optical Rotary Encoder).

Optokoppler

Der Optokoppler ist eine vollständig verkapselte Lichtschranke mit nicht unterbrechbarem Strahlengang (Abbildung 8.4.1). Er dient zur - nahezu perfekten - galvanischen Trennung zwischen Ein- und Ausgang. Ein wichtiger Vorteil: Im Gegensatz zum Transformator ist er vollkommen rückwirkungsfrei. Optokoppler werden in vielfältigen Ausführungsformen gefertigt (Abbildung 8.4.2), auch in Mehrfachanordnung.

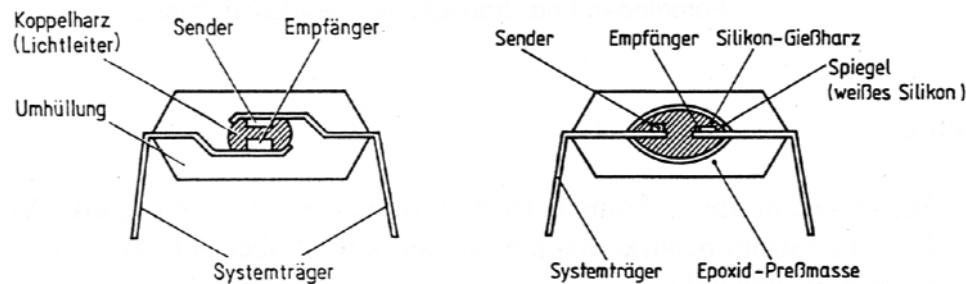


Abbildung 8.4.1 Aufbau von Optokopplern (Siemens)

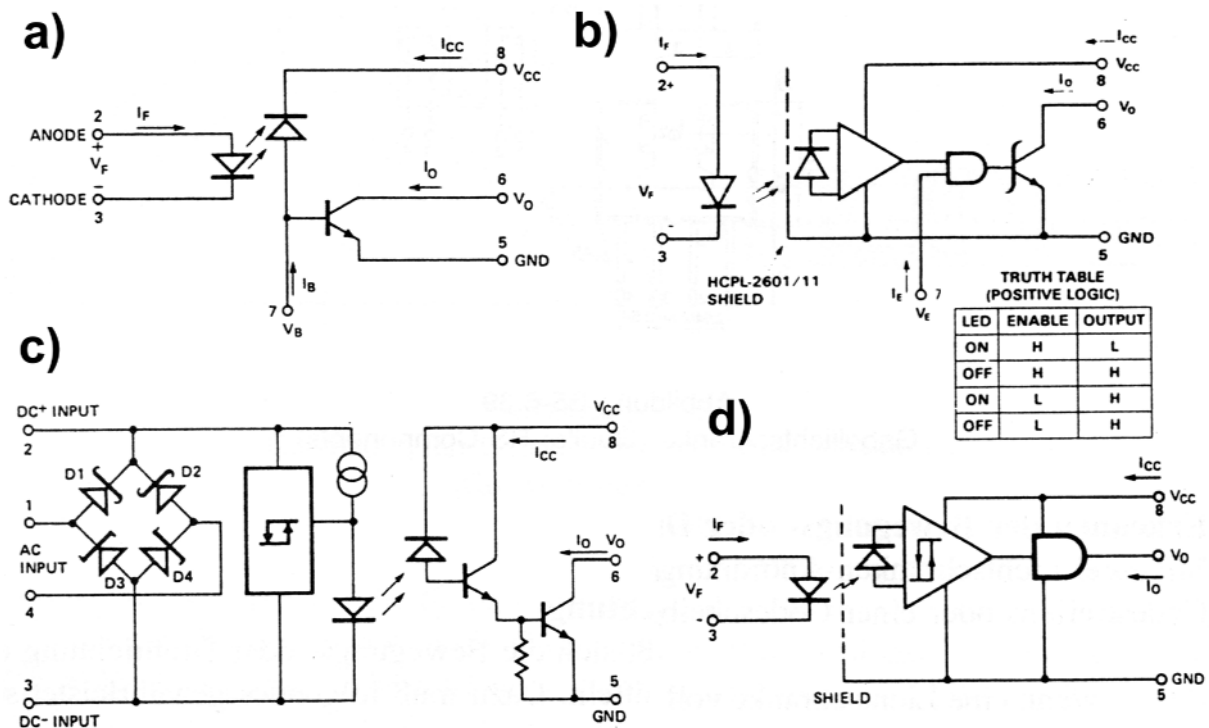


Abbildung 8.4.2 Innenschaltungen von Optokopplern (Beispiele; nach: Hewlett-Packard)

Erklärung zu Abbildung 8.4.2:

a) - einfache LED-Phototransistor-Kombination; b) - mit Verstärker, UND-Gatter und Open-Collector-Ausgang; c) - mit Gleichrichter für Wechselstrom-Ansteuerung und LED-Soeisierung über Schwellwertschalter; d) - mit Verstärker und TTL-kompatiblem Ausgang. Die LED eines Optokopplers wird genauso angesteuert wie eine Anzeige-LED.

Gabellichtschranken und Drehgeber

Solche einfachen Lichtschranken sind praktisch Optokoppler mit freiliegendem, unterbrechbarem Strahlengang. Sie werden eingesetzt, um Endlagen, Bewegungen und Bewegungsrichtungen zu signalisieren. Abbildung 8.4.3 zeigt eine einfache Gabellichtschranke. Die Lichtschranke wird zum Drehgeber, wenn im Lichtstrahl eine entsprechend in Teilen lichtdurchlässige Scheibe rotiert.

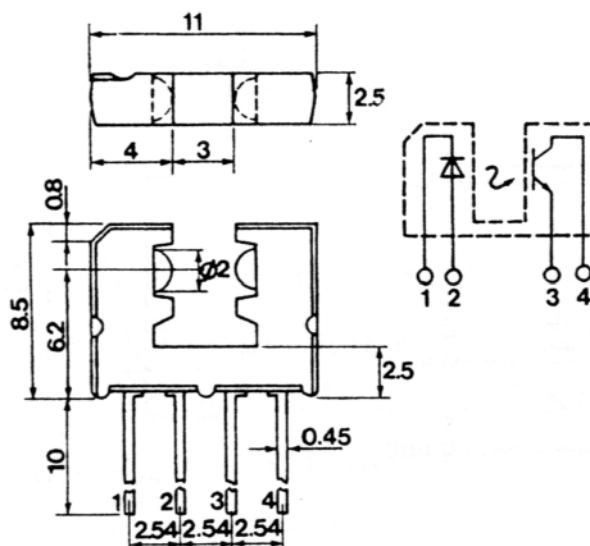


Abbildung 8.4.3 Gabellichtschranke (RS Components)

Erkennen der Bewegungs- oder Drehrichtung

Mit zwei Lichtschranken-Anordnungen läßt sich die Bewegungs- oder Drehrichtung eines Codestreifens oder einer Codescheibe ermitteln. Dazu muß die Anordnung so ausgelegt sein, daß im Verlauf der Bewegung folgende Zustände wirksam werden können:

- beide Lichtschranken unterbrochen,
- jeweils die eine Lichtschranke unterbrochen und die andere durchlässig,
- beide Lichtschranken durchlässig.

Die Abbildungen 8.4.4 bis 8.4.8 veranschaulichen solche Einrichtungen.

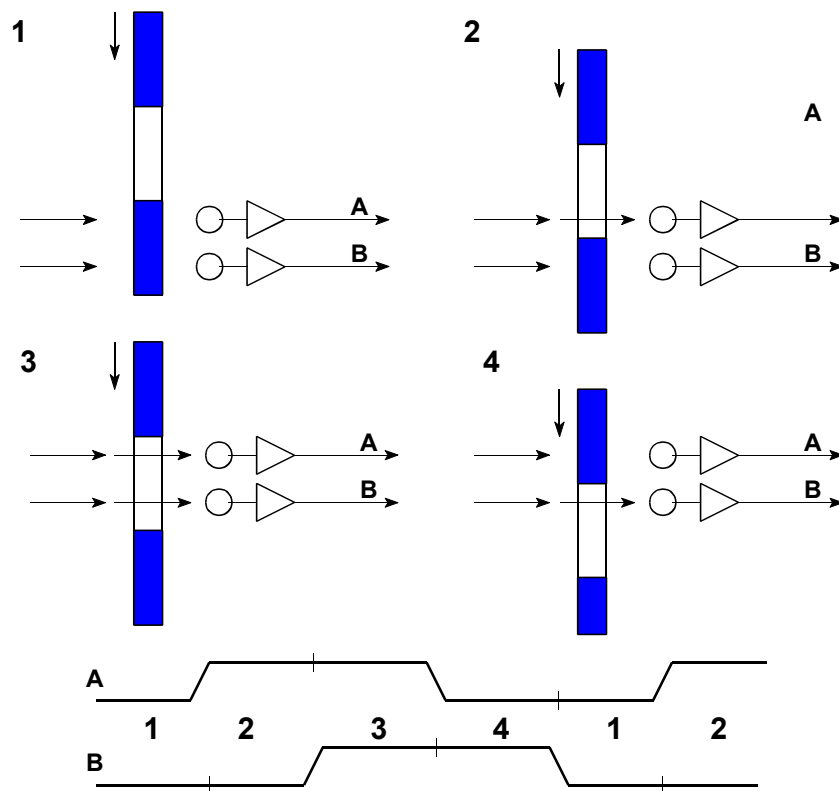


Abbildung 8.4.4 Inkrementeller Bewegungs- oder Drehrichtungsgeber. Zum Wirkprinzip (1)

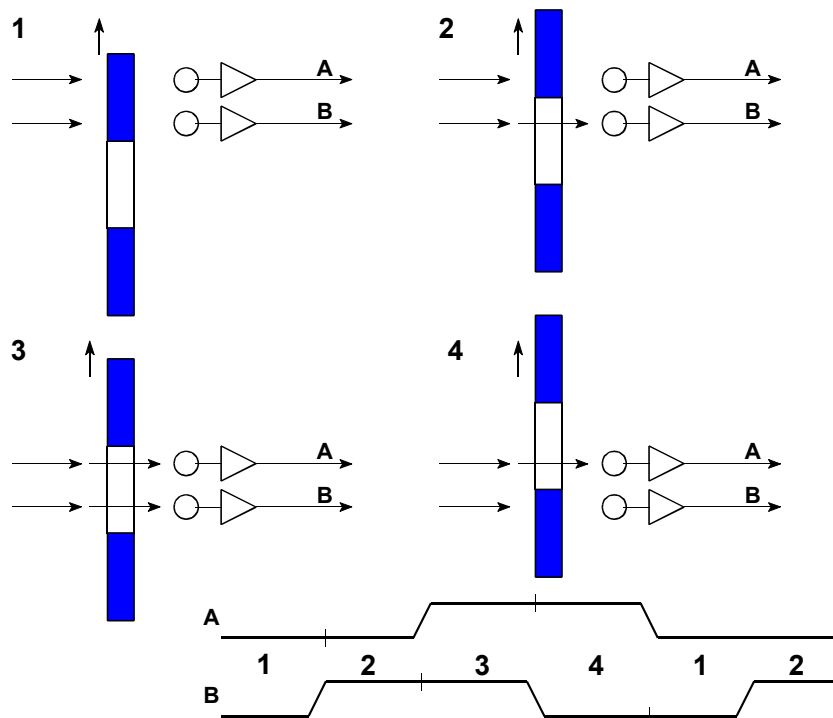


Abbildung 8.4.5 Inkrementeller Bewegungs- oder Drehrichtungsgeber. Zum Wirkprinzip (2)

Erklärung zu den Abbildungen 8.4.4 und 8.4.5:

Es sind die grundsätzlichen Zustände für beide Bewegungs- oder Drehrichtungen dargestellt. Der Geber erzeugt zwei Signale A, B, die mit einer Phasenverschiebung von 90° umschalten (Quadratursignale). Jedes Signal wird von einem Lichtempfänger geliefert. Unsere Konvention: bei unterbrochenem Lichtweg ist das betreffende Signal = 0, bei durchlässigem Lichtweg = 1. Betrachten wir zunächst Abbildung 8.4.4:

- 1) beide Lichtschranken abgedeckt. $A = 0, B = 0$ (Ruhezustand).
- 2) die Blende bewegt sich nach unten und gibt zunächst den Lichtempfänger A frei. $A = 1, B = 0$.
- 3) jetzt wird auch Lichtempfänger B freigegeben. $A = 1, B = 1$.
- 4) Lichtempfänger A wird abgedeckt. $A = 0, B = 1$. Bewegt sich die Blende weiter, ergibt sich erneut Zustand 1.

Kommen wir jetzt zur entgegengesetzten Bewegungsrichtung (Abbildung 8.4.5):

- 1) beide Lichtschranken abgedeckt. $A = 0, B = 0$ (Ruhezustand).
- 2) die Blende bewegt sich nach oben und gibt zunächst den Lichtempfänger B frei. $A = 0, B = 1$.
- 3) jetzt wird auch Lichtempfänger A freigegeben. $A = 1, B = 1$.
- 4) Lichtempfänger B wird abgedeckt. $A = 1, B = 0$. Bewegt sich die Blende weiter, ergibt sich erneut Zustand 1.

Richtungserkennung

Wenn wir von einem Ruhezustand $A = 0, B = 0$ ausgehen, ergibt sich die Bewegungs- oder Drehrichtung daraus, welches der Signale A oder B als erstes schaltet.

Weg- oder Drehwinkelerkennung

Die Blende ist als Codestreifen oder Codescheibe ausgebildet (Abbildung 8.4.6). Eine komplette Signalfolge aus den soeben beschriebenen Phasen 1...4 ergibt sich beim Durchlauf von einer Blende-Loch-Kombination zur nächsten.

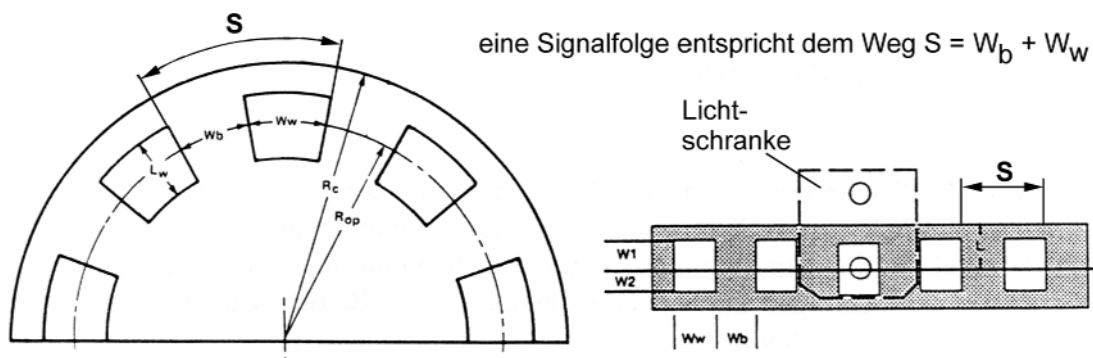


Abbildung 8.4.6 Gestaltung einer Codescheibe und eines Codestreifens (Hewlett-Packard)

Dauer einer Signalfolge:

$$t = \frac{S}{v}$$

S = Weg gemäß Abbildung 8.4.6, v = Bewegungsgeschwindigkeit. Bewegungsgeschwindigkeit einer Codescheibe in m/s (oder b mm/s) bei n Umdrehungen/ Minute:

$$v = \frac{2 \pi r n}{60} = \frac{\pi r n}{30}$$

(r entspricht dem Radius R_{op} in Abbildung 8.4.6.)

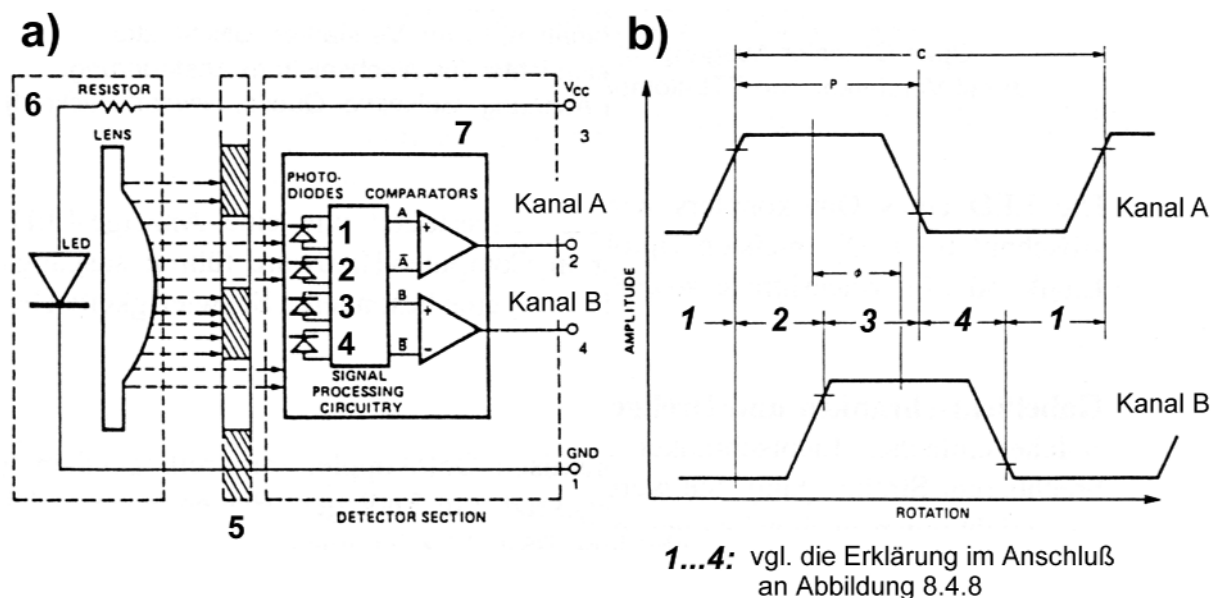


Abbildung 8.4.7 Bewegungs- und Drehrichtungsgeber. Ein Praxisbeispiel (Hewlett-Packard)

Erklärung:

a) - Aufbau; b) - Ausgangssignale (bei umgekehrter Richtung wird zuerst Kanal B aktiv und dann Kanal A). 1...4 - Photodioden; 5 - Codescheibe; 6 - Lichtquelle; 7 - Decoder.

Durch Anordnung von 4 Photodioden werden gleichzeitig die Hell-Dunkel- und die Dunkel-Hell-Übergänge erfaßt. Der Zweck: eine hohe Erfassungsgenauigkeit zu gewährleisten, und zwar auch bei einem gewissen Versatz zwischen Geber und Codescheibe oder Codestreifen.

Die Signalfolge soll anhand eines Beispiels erklärt werden. Abbildung 8.4.8 ergänzt Abbildung 8.4.7 um die weiteren Bewegungsabschnitte. Wir nehmen folgende Signalbelegungen an:

- $A \triangleq$ Photodiode 1; $\bar{A} \triangleq$ Photodiode 3; $B \triangleq$ Photodiode 2; $\bar{B} \triangleq$ Photodiode 4.
- Kanal A wird = 0, wenn Photodiode 1 beleuchtet und Photodiode 3 abgeblendet wird.
- Kanal B wird = 0, wenn Photodiode 2 beleuchtet und Photodiode 4 abgeblendet wird.

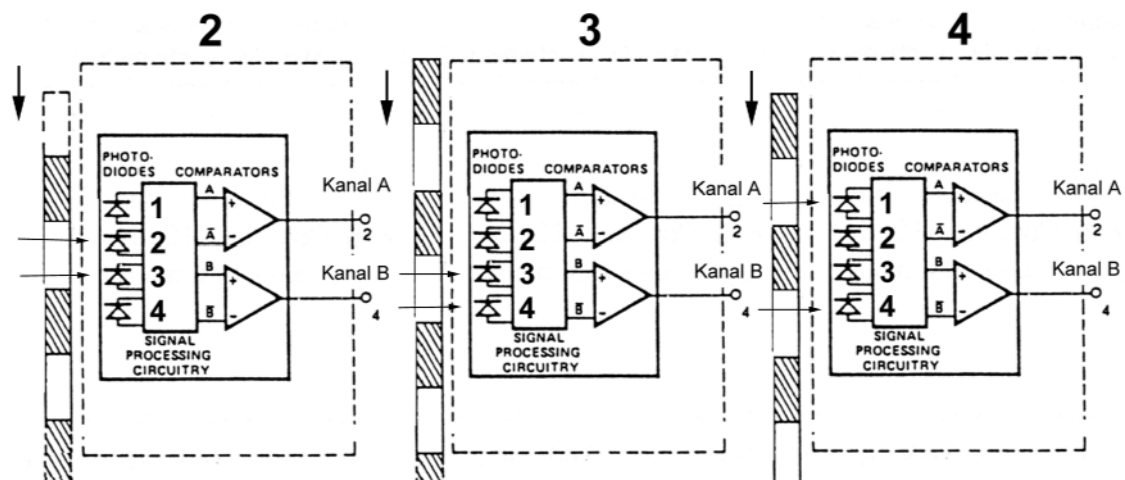


Abbildung 8.4.8 Ablaufbeispiel zur Erklärung der Wirkungsweise

Erklärung:

- 1) Grundzustand gemäß Abbildung 8.4.7: $A = 0$, $B = 0$.
- 2) die Codescheibe bewegt sich nach unten. Dann wird zunächst Photodiode 1 verdeckt, während Photodiode 2 noch Licht erhält. Photodiode 3 erhält jetzt auch Licht, und Photodiode 4 bleibt weiterhin verdeckt. $A = 1$, $B = 0$ (A schaltet zuerst).
- 3) im weiteren Verlauf werden die Photodioden 1 und 2 verdeckt, und die Photodioden 3 und 4 erhalten Licht. $A = 1$, $B = 1$.
- 4) nachfolgend erhält Photodiode 1 Licht. Die Photodioden 2 und 3 bleiben verdeckt, und Photodiode 4 erhält Licht. $A = 0$, $B = 1$. Bewegt sich die Codescheibe weiter, ergibt sich wieder der Grundzustand gemäß Abbildung 8.4.7.

Bei umgekehrter Bewegungsrichtung wird zunächst Photodiode 2 verdeckt. Die Photodioden 1 und 4 erhalten Licht, und Photodiode 3 bleibt verdeckt. $A = 0$, $B = 1$ (B schaltet zuerst) usw.