

Heft 07

Optoelektronische und Anzeigebaulemente

Stand: 1.02

- Vorläufiges Exemplar. Nur zur Information -

Die hier in Rede stehenden Bauelemente dienen dazu, Licht entweder abzugeben oder zu empfangen und in elektrische Signale umzuwandeln. Um derartige Funktionen zu verwirklichen, sind verschiedenartige physikalische Effekte ausnutzbar. Wir wollen hier allerdings nicht in die Physik eindringen und uns auf jene Bauelemente beschränken, die in der Praxis vorrangig einzusetzen sind. Was behandeln wir *nicht*?

- Gasentladungsanzeigen, Fotowiderstände, Laserdioden, Lichtwellenleiter,
- Glühlampen,
- Bildröhren.

1. Leuchtdioden (LEDs)

Leuchtdioden (Light Emitting Diodes, LEDs) sind Halbleiterdioden, die, in Durchlaßrichtung (Flußrichtung) betrieben, sichtbares oder infrarotes Licht aussenden. Sie werden in einer Vielzahl von Bauformen gefertigt (Abbildung 1.1).

Abbildung 1.1 Leuchtdioden. a) Aufbau und Schaltsymbol, b) eine (kleinere) Auswahl verschiedener Bauformen (Elektor/Hewlett-Packard)

1.1. Grundlagen

Leuchtdioden erzeugen kein weißes Licht. Es sind vielmehr nur die Farben Rot, Gelb und Grün und Blau marktgängig. Des weiteren gibt es LEDs, die infrarotes Licht aussenden (IR-LEDs). Tabelle 1.1 nennt dazu weitere Einzelheiten.

Farbe	Wellenlänge	Kennzeichnende Wellenlänge	Flußspannung
Infrarot (IR)	880...960 nm		1,3...1,7 V (typisch 1,5 V)
Rot	630...690 nm	normal rot: 637 nm, intensiv rot: 626 nm, orange: 602 nm	normal rot: 1,6...2,2 V (typisch 1,8 V); intensiv rot und orange: 1,5...3,0 V (typisch 2,2 V)
Gelb	580...590 nm	585 nm	1,5...3,0 V (typisch 2,2 V)
Grün	560...570 nm	569 nm	1,5...3,0 V (typisch 2,3 V)
Blau	460...480 nm	470 nm	typisch 3 V, maximal 5 V

Tabelle 1.1 Allgemeine Kennwerte von Leuchtdioden (nach: Hewlett-Packard)

Erklärung:

1. Die kennzeichnende Wellenlänge (Dominant Wavelength) ist jene Wellenlänge, die die Farbe des Bauelementes bestimmt (im Sinne einer Handelsbezeichnung, wie "Gelb", "Rot" usw.). Die Wellenlänge, bei der die LED die höchste Strahlungsintensität hat, heißt Peak Wavelength (Abbildung 1.2). Sie weicht in gewissen Grenzen von der kennzeichnenden Wellenlänge ab.
2. Zu den Farben. Die Grundfarben gib es in verschiedener Intensität. So gibt es rote LEDs in den Ausführungen "normal rot" (Red), "intensiv rot" (High Efficiency Red, HER) und "orange". Grüne LEDs werden in "normalem" und "intensivem" Grün (High Performance Green) gefertigt.

Abbildung 1.2 Die relative Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge (Hewlett Packard)

Auf dieser Grundlage werden Bauelemente mit verschiedenartigen wahrnehmbaren Leuchtwirkungen gefertigt. Neben der - vom Halbleiterwerkstoff abhängenden - Grundfarbe wird die Leuchtwirkung durch Größe, Form, Färbung und Oberflächengestaltung des Gehäuses bestimmt. Es folgen die wichtigsten Merkmale:

- Formgebung: rund, rechteckig (rectangular) oder Sonderformen (z. B. dreieckig),
- Abmessungen: Die "klassische" LED hat einen Gehäusedurchmesser von 5 mm. Große Bauformen haben Durchmesser von 8 und 10 mm, Subminiatur- und Miniaturbauformen von 2 und 3 mm.
- Gehäusefärbung: gefärbt oder ungefärbt (tinted/untinted),
- Abstrahlungswinkel: diffuse oder mehr gerichtete Abstrahlung (diffused/nondiffused).

1.2. Kennwerte

Durchlaßstrom (DC Forward Current I_F)

Der zulässige Durchlaßstrom im Dauerbetrieb (Gleichstrombetrieb) ist der wichtigste elektrische Kennwert beim Auswählen von Leuchtdioden.

Hinweise:

1. Der Durchlaßstrom einer "Wald-und-Wiesen"-LED (mit 5 mm Durchmesser) liegt bei etwa 20 mA. Bei Miniatur- und Subminiaturbauformen liegt der Durchlaßstrom üblicherweise bei 10 mA.
2. Niedrigstrom-LEDs haben Durchlaßströme um 2 mA.
3. Bei besonders hell leuchtenden (ultrahellen) LEDs bzw. Ausführungen mit 8 oder 10 mm Durchmesser liegt der Durchlaßstrom im Bereich von 25 bis 50 mA.
4. LEDs können mit geringerer Stromstärke betrieben werden. Dabei sinkt aber die Helligkeit.

Stromkennwerte bei Impulsbelastung

Der *zeitweilige Impulsspitzenstrom* (Transient Peak Forward Current) ist der Strom, den das Bauelement für kurze Zeit (einige μs) aushält. Der Betriebsstrom muß - auch bei Impuls-Ansteuerung - deutlich unterhalb des Impulsspitzenstroms bleiben.

Der *Spitzen-Durchlaßstrom* (Peak Forward Current I_{PEAK}) ist der Strom, mit dem die LED bei impulsförmiger Ansteuerung noch betrieben werden darf. In genauen Datenblättern wird der Wert ergänzt durch die Angabe eines durchschnittlichen bzw. gemittelten Stromwertes, der nicht überschritten werden darf (Average Forward Current I_{AVG}). Der Impulsstrom I_{PEAK} , mit dem die LED tatsächlich betrieben werden darf, muß dann folgender Bedingung genügen:

$$f \cdot p \cdot I_{\text{PEAK}} \geq I_{\text{AVG}}$$

Hierin sind f die Impulsfolgefrequenz und p die Impulsbreite.

Abbildung 1.3 zeigt anhand eines Beispiels die Abhängigkeit zwischen dem gemittelten Durchlaßstrom und dem Impulsstrom bei einer Impulsfolgefrequenz von 1 kHz.

Abbildung 1.3 Der Impulsstrom in Abhängigkeit vom gemittelten Durchlaßstrom (Beispiel; Hewlett-Packard)

Wie ist das Diagramm zu lesen? - Wenn man die LED mit 300-mA-Impulsen betreibt, darf der gemittelte Durchlaßstrom nicht größer werden als 15 mA. Durch Umstellen der obigen Formel läßt sich die zulässige Impulsdauer errechnen:

$$p \geq \frac{I_{\text{AVG}}}{I_{\text{PEAK}} \cdot f}$$

Die Zahlenwerte eingesetzt:

$$p \geq \frac{15}{300 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} = 50 \mu\text{s}$$

Hingegen ist, wenn wir den Impulsstrom auf 100 mA begrenzen, ein gemittelter Durchlaßstrom von 30 mA zulässig. Dann wird

$$p = \frac{30}{100 \cdot 1000} = 3 \cdot 10^{-4} = 300 \mu\text{s}.$$

Bei einem Impulsabstand von 1 ms ($\hat{=}$ 1 kHz) bedeutet dies, die LED darf mit einem Duty Cycle von rund $1/3 = 33\%$ angesteuert werden.

Flußspannung (Forward Voltage)

Typische Flußspannungen von LED sind aus Tabelle 1.1 ersichtlich. Wir merken uns: LEDs haben eine deutlich höhere Flußspannung als "gewöhnliche" SI-Dioden. Sie liegt bei IR-LEDs um 1,5 V und bei LEDs, die sichtbares Licht aussenden, um 2 V.

Sperrspannung (Reverse Voltage)

Achtung: LEDs haben eine sehr geringe Sperrspannung. Typische Mindestwerte (die die LEDs aushalten müssen) liegen zwischen 5 und 8 V; viele Exemplare halten aber bis zu etwa 20 V aus.

Löttemperatur

Hinsichtlich der Löttemperatur gelten die LEDs als empfindliche Halbleiterbauelemente. Richtwerte: nicht über 260 °C, nicht länger als 3...5 s. Wenn es so nicht geht, Löttemperatur erhöhen (bis ca. 315 °C) und Lötzeit auf 1,5...2 s verkürzen. (Das gilt beim Löten an einem etwa 2 mm langem Anschluß - wenn also die LED unmittelbar auf der Leiterplatte sitzt.) Dauert der Lötvorgang länger, sollte die Lötwärme mit einer Pinzette oder Zange abgeleitet werden.

Anschlußkennzeichnung

Abbildung 1.4 veranschaulicht übliche Anschlußkennzeichnungen.

Abbildung 1.4 Anschlußkennzeichnung von LEDs. a) Katodenanschluß ist kürzer, b) auf der Katodenseite ist das Gehäuse abgeflacht, c) die Katodenseite ist durch einen Streifen gekennzeichnet (Hewlett-Packard)

1.3. Sonderbauformen

Zu den gängigen Sonderbauformen gehören:

- LEDs mit eingebautem Strombegrenzungswiderstand,
- LEDs mit eingebauter Blinkschaltung,
- mehrere gemeinsam angesteuerte LEDs (Multichip-LEDs) mit Begrenzungswiderstand im Sockel (Glühlampenersatz),
- mehrere unabhängige LEDs in einem gemeinsamen Gehäuse,
- Zweifach-LEDs,
- Leuchtflächen,
- Leuchtbalken,
- 7-Segment-Anzeigen,
- 16-Segment-Anzeigen,
- Punktmatrixanzeigen.

Die verschiedenen Symbolanzeigen (7 oder 16 Segmente bzw. Punktmatrix) gibt es weiterhin als Ausführungen mit mehreren Ziffernstellen und mit eingebauter Ansteuer- Elektronik ("intelligente" LED-Displays).

Zweifach-LEDs

Abbildung 1.5 zeigt die 2 am meisten verbreiteten Ausführungen.

Abbildung 1.5 Zweifach-LEDs (RS Components)

Erklärung:

- a) zwei unabhängig ansteuerbare gleichartig gepolte LEDs unterschiedlicher Farbe im selben Gehäuse. Die eine LED ist üblicherweise grün, die andere rot. Werden beide gleichzeitig aktiviert, entsteht die Mischfarbe Gelb.
- b) zwei antiparallel geschaltete LEDs unterschiedlicher Farbe im selben Gehäuse. Je nach Stromrichtung leuchtet eine der beiden LEDs. Fließt ein Wechselstrom hinreichender Frequenz, erscheint dem Auge die jeweilige Mischfarbe

Leuchtflächen

Leuchtflächen (Light Bars; Abbildung 1.6) sind Anordnungen mehrerer LEDs in einem Gehäuse. Der Zweck besteht darin, eine größere Fläche gleichmäßig auszuleuchten (beispielsweise im Sinne eines Schauzeichens in einem Bedienfeld). Ausführungen mit LEDs unterschiedlicher Farbe ermöglichen es, die Fläche je nach Betriebszustand verschiedenfarbig zu beleuchten (z. B. grün bei Normalbetrieb und rot bei Havarie).

Abbildung 1.6 Leuchtflächen (RS Components)

Leuchtbalken

Leuchtbalken (Bar Graph Arrays; Abbildung 1.7) sind zeilenförmige Anordnungen einzelner LEDs, die meist im Sinne einer Bandskala benutzt werden (das heißt, um einen wandernden Leuchtfleck oder einen Leuchtbalken veränderlicher Länge anzuzeigen).

Abbildung 1.7 Leuchtbalken. a) Abmessungen, b) Innenschaltung (Hewlett-Packard)

7-Segment-Anzeigen

7-Segment-Anzeigen (Abbildung 1.8) enthalten Leuchtdioden in einer charakteristischen "8"-förmigen Anordnung, die es ermöglicht, alle Ziffern zwischen 0 und 9 sowie einige Buchstaben aus 7 Strichelementen zusammengesetzt darzustellen. Üblicherweise ist noch eine weitere LED zwecks Darstellung des Dezimalpunktes (Kommas) vorgesehen. Eine Sonderform ermöglicht die Darstellung der Ziffer 1, eines nachgestellten Dezimalpunktes sowie eines vorangestellten Vorzeichens (+ oder -) und ist vorgesehen, um die höchste (am weitesten links stehende) Ziffernposition einer n 1/2-stelligen Ziffernanzeige zu bestücken (übliche Bezeichnung: ± 1 Overflow; Überlaufanzeige).

Abbildung 1.8 7-Segment-Anzeigen (darunter: Ziffern und Zeichen in 7-Segment-Darstellung; Hewlett-Packard)

Die Abbildungen 1.9 und 1.10 zeigen typische Innenschaltungen sowie eine einfache Anwendung.

Abbildung 1.9 7-Segment-LEDs. Innenschaltungen (Texas Instruments)

Abbildung 1.10 7-Segment-LEDs. Eine Anwendungsschaltung (Texas Instruments)

Erklärung:

Die Anwendung ist ein 3-stelliger Dezimalzähler mit einem zusätzlichen Flipflop (7472) für die Überlaufanzeige. Dezimalpunkte und Vorzeichen werden von außen angesteuert.

Wichtige Unterscheidungen

Bei vielen Typen müssen wir achtgeben, da es verschiedene Ausführungsformen gibt und beim Ausschuchen/Ersetzen auch weitere "Kleinigkeiten" von Belang sind:

1. Polarität: In den Bauelementen sind entweder die Anoden oder die Katoden aller LEDs zusammenschaltet (Common Anode/Cathode). Manche \pm -Overflow- Anzeigen haben alle LEDs einzeln auf Anschlüsse geführt ("universelle" Anschlußbelegung).
2. Dezimalpunkt: Wahlweise ist der Dezimalpunkt links oder rechts vom Ziffernsymbol mit einer LED bestückt.
3. Anzahl der LEDs: Bei manchen Typen sind die Segmente jeweils mit einer LED bestückt, bei anderen hat man 2 LEDs hintereinandergeschaltet (vgl. auch Abbildung 1.9 unten). An der Flußspannung ist erkennbar, womit wir es zu tun haben (zum einen < 2 V, zum anderen > 3 V). Bei 2 LEDs je Segment hat der Dezimalpunkt nur eine Leuchtdiode, so daß der betreffende Vorwiderstand anders zu dimensionieren ist.

16-Segment-Anzeigen

Bei Hinzunahme weiterer Segmente lassen sich alle Großbuchstaben des lateinischen Alphabets und wichtige Sonderzeichen in befriedigender Qualität darstellen. Abbildung 1.10 veranschaulicht einen entsprechenden Ausschnitt aus dem ASCII-Zeichensatz.

Abbildung 1.11 16-Segment-Darstellung. a) Segmentanordnung, b) Zeichensatz (Hewlett-Packard)

Die Segmentanordnung wird üblicherweise durch einen Dezimalpunkt ergänzt. 16-Segment-Anzeigebaulemente sind meist komplette Moduln, die auch die Ansteuerung enthalten.

Punktmatrixanzeigen

Punktmatrixanzeigen (Abbildung 1.11) enthalten eine größere Zahl einzelner Leuchtdioden, die flächenhaft in einem Raster angeordnet sind. Das übliche Raster umfaßt $5 \cdot 7 = 35$ LEDs. In einem $5 \cdot 7$ - Raster kann man alle Ziffern, Großbuchstaben und Sonderzeichen der üblichen

Computer-Zeichensätze darstellen (Abbildung 1.12). Auch Kleinbuchstaben sind in diesem Raster durchaus noch darstellbar. (Zwar nicht gerade eine Schriftqualität, wie wir sie von Truetype oder Postscript gewöhnt sind, aber für Preise, Gewichte, Bedienhinweise oder Fehleranzeigen vollauf ausreichend.)

Abbildung 1.12 Punktmatrixanzeige (Ausführungsbeispiel; Hewlett-Packard)

Abbildung 1.13 Zeichendarstellung auf 5 · 7 - Punktmatrixanzeigen (Hewlett-Packard)

Die einzelnen LEDs sind in einer Matrixanordnung verschaltet. Ein 5 · 7-Bauelement hat dementsprechend 7 Zeilenanschlüsse und 5 Spaltenanschlüsse. Man unterscheidet danach, ob die Katoden oder die Anoden auf die Zeilenanschlüsse geführt sind (Common Row Cathode/Anode; Abbildung 1.13).

Abbildung 1.14 Innenschaltungen von Punktmatrixanzeigen (Hewlett-Packard)

Eine weitere Ausführung hat 16 LEDs, die ein Punktraster bilden, das zur Darstellung eines Vorzeichens, einer Eins in der höchstwertigen Stelle und des Dezimalpunktes ausreicht (Überlaufanzeige).

LED-Symbolanzeigen im Service

Hier gilt es, im besonderen beim *Reinigen* achtzugeben: Das Reinigungsmittel darf die Oberfläche nicht angreifen. Namentlich Anzeigebaulemente mit Vergrößerungslinsen sind hier empfindlich: sie vertragen keinen Alkohol (und auch keine Mittel, die nur geringe Anteile von Alkohol enthalten).

1.3. Ansteuerung

Ansteuerung mit Gleichstrom

Leuchtdioden werden in *Flußrichtung* betrieben. Sie brauchen deshalb eine Strombegrenzung. Das heißt praktisch: sie müssen über eine Stromquelle oder - als einfachste Lösung - über einen in Reihe geschalteten Widerstand (Vorwiderstand) betrieben werden (Abbildung 1.15).

Abbildung 1.15 LED-Ansteuerung mit Gleichstrom. a) Bestimmung des Vorwiderstandes, b) Anschaltung an einen TTL- oder CMOS-Ausgang, c) einfache Stromquelle

Die LED in Labor und Service

Vorsicht beim Prüfen. Eine LED kann man durch "Ziehen" in die richtige Richtung einfach auf Funktion prüfen, durch einen Kurzschluß (also: durch "Ziehen am falschen Ende" des strombegrenzenden Widerstandes) wird sie hingegen kaputtgeprüft. Abbildung 1.15b) mag als Beispiel dienen. Richtig: am NAND-Ausgang nach Masse ziehen. Falsch (LED stirbt): LED-Katode nach Masse ziehen.

Helligkeitssteuerung

Die Helligkeit läßt sich entweder (1) direkt über den Durchflußstrom oder (2) indirekt durch Impulsansteuerung mit Impulsbreiten- bzw. Impulsfrequenzbeeinflussung steuern.

Ansteuerung mit Wechselstrom

Bei Ansteuerung mit Wechselstrom ist die Leuchtdiode nur während einer Halbwelle aktiv. Will man die volle Helligkeit gewährleisten, ist der Durchflußstrom entsprechend zu erhöhen (Faustregel: zu verdoppeln).

Achtung:

LEDs haben nur eine geringe Sperrspannung. Übersteigt der Spitzenwert der Wechselspannung die garantierte Sperrspannung, gibt es folgende Lösungen:

1. Antiparallelschalten einer üblichen Siliziumdiode,
2. Nutzung einer entsprechenden Zweifach-LED-Anordnung (vgl. Abbildung 1.5).
3. Der Nachteil: Man erhält nur die jeweilige Mischfarbe und hat bei 50 Hz unter Umständen schon ein störendes Flimmern (LEDs sind keineswegs so träge wie Glühlampen).

Die LED an Netzwechselspannung

Wegen des hohen Spannungsabfalls müßte ein Vorwiderstand mit einigen W belastbar sein. Abhilfe schafft das In-Reihe-Schalten eines Kondensators (Abbildung 1.16). Es muß sich allerdings um eine ausreichend spannungsfeste Ausführung handeln, z. B. um einen MP-Typ. Will man ganz auf "Nummer sicher" gehen, müßte die Anordnung gegen ein Durchschlagen des Kondensators zusätzlich mit Feinsicherung und Suppressordiode abgesichert werden.

Abbildung 1.16 Die LED an Wechselspannung. a) Antiparallelschaltung, b) Betrieb mit Vorwiderstand, c) Anschaltung an 230 V über Vorschaltkondensator, d) mit zusätzlicher Schutzbeschaltung

Praxistip:

Solche Schaltungen sind eher von Bedeutung, wenn man die LEDs in Optokopplern aus dem Netz speisen will (z. B. in Netzüberwachungsschaltungen). Als einfache Einschaltkontrolle ist die gute alte Glühlampe oft das preiswertere Bauteil.

Time-Sharing-Ansteuerung

Im besonderen größere Ziffern- oder alphanumerische Anzeigen werden meist nach dem Time-Sharing- oder Multiplexprinzip angesteuert. Das funktioniert ähnlich wie beim Fernsehen: Es wird LED für LED nacheinander erregt, die Ansteuerung erfolgt aber so schnell (meist mit einigen kHz), daß das Auge eine flimmerfreie Darstellung wahrnimmt. Bei Segmentanzeigen wird jeweils Symbol für Symbol angesteuert (dabei werden die betreffenden LEDs alle gleichzeitig erregt), Punktmatrixanzeigen hingegen Zeile für Zeile oder Spalte für Spalte. Abbildung 1.17 zeigt eine etwas ältere Anwendungsschaltung, die aber das wesentliche deutlich erkennen läßt.

Abbildung 1.17 Time-Sharing-Ansteuerung (Multiplexbetrieb) von 7-Segment-Anzeigen (Texas Instruments)

Erklärung:

- die Anordnung ist einem 8-stelligen Dezimalzähler nachgeschaltet. Jede Dezimalstelle hat die Ausgangssignale An, Bn, Cn, Dn ($n = 1..4$).
- der Taktgenerator 1 erzeugt einen Takt von etwa 1 kHz und steuert damit einen Zähler 2 an.
- der Zähler 2 wählt über Multiplexer 3 jeweils eine Dezimalstelle aus und schaltet sie auf den Segmentdecoder 4. Gleichzeitig wird über einen Decoder 5 die jeweilige 7-Segment-Anzeige ausgewählt.
- die einzelnen Segment-LEDs werden vom Segmentdecoder 4 aus über Konstantstromquellen 6 angesteuert (der Dezimalpunkt hat eine besondere Ansteuerung).
- der vom Decoder 5 angesteuerte Digit-Treiber 7 schaltet für die jeweils ausgewählte 7-Segment-Anzeige einen Stromweg nach V_{CC} . Da über den gemeinsamen Anodenanschluß die Summe aller Segmentströme fließt, müssen hier entsprechend "dicke" Treibertransistoren vorgesehen werden.
- der Monoflop 8 hat zwei Funktionen: (1) bei jeder Taktflanke, mit der Zähler 2 weiter-schaltet, tastet er zunächst die gesamte Anzeige aus (Blanking). Das ist wichtig, weil ansonsten die Gefahr besteht, daß während der Umschaltvorgänge Segmente kurzzeitig undefiniert erregt werden. (Das schadet zwar der Hardware nicht, sieht aber sehr unschön aus.) (2) ermöglicht er es, über das 50-KOhm- Potentiometer die Länge der Austastimpulse und so die Gesamt-Helligkeit einzustellen.

Ein wichtiger Vorteil: Man braucht nur vergleichsweise wenige Verbindungen zwischen der Ansteuerung (in der Abbildung links) und dem eigentlichen Anzeigeteil (in der Abbildung rechts).

Solche Ansteuerschaltungen können folgendermaßen ausgeführt sein:

- mit elementaren Digital Schaltkreisen (wie in der Abbildung gezeigt),
- als spezielle Ansteuerschaltkreise,
- in die LED-Baugruppe eingebaut,
- als Mikrocontroller, in dem eine entsprechende Software läuft.

Viele hochintegrierte Schaltkreise, deren Aufgabe darin besteht, letzten Endes irgendwelche Werte anzuzeigen, haben die komplette Time-Sharing-Ansteuerung gleich eingebaut (das betrifft z. B. Universalzähler- und Digitalvoltmeter-Schaltkreise).

Die Time-Sharing-Anzeige in Labor und Service

Um eine ausreichende Helligkeit zu erreichen, werden die LEDs mit entsprechend höheren impulsförmigen Strömen angesteuert. Das kann aber gefährlich werden, wenn die zyklische Erregung ausfällt (Defekt im Ansteuerschaltkreis, versehentlicher Kurzschluß beim Messen usw.). Die dann als letzte mit überhöhtem Strom angesteuerte LED dürfte das nicht immer überleben. Tip: Im Fehlerfall die LEDs zunächst herausnehmen und erst einmal prüfen (Oszilloskop), ob die zyklische Ansteuerung wirklich gegeben ist.

Moderne Ansteuerschaltkreise

Neben der Time-Sharing-Anzeige ist auch die direkte Ansteuerung mehrerer LEDs in Mode gekommen. Ein wichtiger Vorteil: LEDs sind meist in Bedienfeldern untergebracht, die sich gegen Störabstrahlung naturgemäß nicht allzu gut abschirmen lassen. Time-Sharing-Anzeige bedeutet zyklische Impulse, also vergleichsweise viel Störstrahlung. Bei statischer Ansteuerung ändert sich hingegen die meiste Zeit über gar nichts. Entsprechende Schaltkreise haben ein einfaches serielles Interface. Die LEDs werden über eingebaute Konstantstromquellen angeschlossen, so daß man keine zusätzlichen Widerstände braucht (Abbildungen 1.18 bis 1.20).

Abbildung 1.18 LED-Mehrfachtreiber mit seriellem Interface. Blockschaltbild (SGS-Thomson)

Abbildung 1.19 Impulsdigramm der Ansteuerung (SGS-Thomson)

Erklärung:

Im Beispiel kann der Schaltkreis bis zu 35 LEDs ansteuern. Die Belegung wird seriell übertragen, wofür nur zwei Leitungen (Takt und Daten) verwendet werden. Ähnlich wie bei den seriellen Schnittstellen erwartet der Schaltkreis aus dem Ruhezustand heraus zunächst ein Startbit und beginnt daraufhin, die folgenden Bits in ein Schieberegister einzulesen. Nach Übertragung von insgesamt 36 Bits werden die Latches geladen. Die neue Belegung kommt damit zur Anzeige, und der Schaltkreis kehrt in den Ruhezustand zurück.

Abbildung 1.20 zeigt eine Anwendung, in der 8 7-Segment-Anzeigen nach dem Multiplexprinzip betrieben werden (jeweils 4 Stellen werden gleichzeitig erregt, und zwei Bitpositionen werden verwendet, um zwischen beiden Vierergruppen entsprechend umzuschalten. Die ansteuernde Einrichtung (z. B. ein Mikrocontroller) muß die Belegung aller Stellen durch zyklische Übertragung immer wieder auffrischen.

Abbildung 1.20 Anwendungsbeispiel: Multiplexansteuerung einer 8-stelligen 7-Segment-Anzeige (SGS-Thomson)

LED-Druckköpfe und LED-Löscheinheiten

LED-Druckköpfe sind eine Alternative zum Laser beim xerographischen Druckverfahren. Ein solcher Druckkopf hat eine LED je Pixelposition. LED-Löscheinheiten (Erase Bars) werden - anstelle von Glühlampen - verwendet, um die xerographische Trommel zwecks Löschung gleichmäßig zu beleuchten. Die Abbildungen 1.21 und 1.22 sollen anhand von Maßskizzen und technischen Daten einen ersten Eindruck von derartigen Baugruppen vermitteln.

Abbildung 1.21 LED-Druckköpfe (Hewlett-Packard)

Abbildung 1.22 LED-Löscheinheiten (Hewlett-Packard)

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 2.1 veranschaulicht, wie eine LCD-Zelle funktioniert.

Abbildung 2.1 Wirkprinzip der LCD-Anzeige. a) Zelle nicht erregt und somit lichtdurchlässig, b) Zelle mit Wechsellspannung erregt und somit lichtundurchlässig

Abbildung 2.2 zeigt, wie der Kontrast einer LCD-Anzeige von der Spannung zwischen den Elektroden abhängt.

Abbildung 2.2 Beispiel einer LCD-Kennlinie: der Kontrast in Abhängigkeit von der Spannung zwischen den Elektroden (Drive Voltage; Microchip Technology)

Komplette LCD-Anzeigeeinheiten bestehen aus einzeln steuerbaren Zellen, die durch entsprechend geformte Elektroden gebildet werden (Abbildung 2.3).

Abbildung 2.3 Aufbau einer einfachen 7-Segment-Anzeige: a) Übersicht, b) Querschnitt

Üblicherweise stehen mehrere einzeln steuerbare Elektroden (Segmente, SEGs) jeweils einer gemeinsamen Rückelektrode (Common Electrode, COM) gegenüber. (Verwechseln Sie in Datenblättern und Schaltplänen ein LCD-COM nicht mit Masse!)

Ansteuerung

Wir merken uns: LED-Anzeigen sind stromgesteuert, LCD-Anzeigen hingegen *spannungsgesteuert*. Sie müssen *gleichstromfrei* angesteuert werden. (Gleichstrom würde durch Elektrolysevorgänge die Flüssigkristallschicht zerstören.) LCD-Anzeigen müssen also mit Wechsellspannung angesteuert werden.

Man braucht aber keine Sinusspannung. Entscheidend ist vielmehr der Spannungsmittelwert (V_{RMS}). Deshalb ist es möglich, die Anzeigeeinheit mit Impulsen anzusteuern.

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 (Stichwort: Wechselschaltung). Die Abbildungen 2.4 und 2.5 zeigen das Prinzip.

Abbildung 2.4 Prinzip der LCD-Ansteuerung (Microchip Technology)

Erklärung:

- a) Ersatzschaltung einer LCD-Zelle (= kapazitive Last),
- b) Ansteuerung.

Oben: SEG-Erregung = COM-Erregung, also Spannungsdifferenz 0; unten: SEG-Erregung entgegengesetzt zu COM-Erregung, also Spannungsdifferenz = V_{DD} .

Abbildung 2.5 Prinzip der LCD-Ansteuerung aus technischer Sicht. a) Ersatzschaltbild (Wechselschaltung), b) Impulsdiagramm, c) Wechselschaltung mit Antivalenzgattern

Frequenzen:

Die Impulsfrequenzen liegen typischerweise zwischen 40 und 70 Hz (Extremwerte: 25...300 Hz). Obwohl es also "nicht so darauf ankommt", sollten die Impulsflanken *Anstiegszeiten* im Bereich weniger μ s 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 2.6).

Abbildung 2.6 LCD-Multiplexanzeigen. a) Prinzip der Elektrodenanordnung, b) typisches Beispiel einer 7-Segment-Anzeige (Intersil)

Betrachten wir Abbildung 2.6b: Wenn wir Segment "g" erregen wollen, müssen wir eine Spannung zwischen COM 2 und Spaltenleitung Y anlegen. Eine Ansteuerung gemäß der "statischen" Betriebsweise würde nicht funktionieren: Nehmen wir an, wir erregen alle COM-Leitungen gleichartig. Dann würden bei gegensinniger Erregung der Segmentleitung Y alle Segmente "a", "g", "d" aktiviert. Es würde also nichts anderes übrigbleiben, als die anderen COM-Leitungen gar nicht anzusteuern. Damit wäre aber die Forderung nach gleichstromfreiem

Betrieb nicht mehr erfüllt. Der Ausweg: Umtasten zwischen mehreren Spannungspegeln, und zwar so, daß nur im Kreuzungspunkt der jeweiligen SEG- und COM-Leitungen eine bestimmte Schwellenspannung überschritten wird. Abbildung 2.7 zeigt den einfachsten Betriebsfall mit 3 Spannungspegeln (Triplex-Ansteuerung).

Abbildung 2.7 Triplex-Ansteuerung. a) grundsätzliche Impulsformen, b) Erzeugung der symmetrischen Spannungen, c) Beispiele für Signale auf COM-Leitungen (Microchip Technology)

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 2.7b zeigt, daß man die symmetrischen Spannungen recht einfach mit einem symmetrischen Spannungsteiler erzeugen kann, der zwischen zwei CMOS-Ausgangsstufen liegt. LCD-Flachbildschirme (s. weiter unten) werden mit mehreren Spannungspegeln angesteuert.

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.

LCD-Flachbildschirme

LCD-Flachbildschirme sind Punktmatrix-Anordnungen mit hoher Auflösung.

Passive LCD-Matrizen

Eine passive LCD-Anzeige hat in Matrixform angeordnete Elektroden, die durch außerhalb angeordnete Treiberstufen nach dem Zeitmultiplexprinzip erregt werden. Jeder Kreuzungspunkt entspricht einem Pixel.

Aktive LCD-Matrizen

Eine aktive LCD-Matrix hat auf der Vorderseite eine einzige gemeinsame Elektrode, der auf der Rückseite eine einzelne Elektrode für jedes Pixel gegenübersteht. Jede Pixel-Elektrode wird durch einen ihr zugeordneten Transistor direkt gesteuert. Die auf dem Glassubstrat angeordneten Transistoren werden ihrerseits nach einem Matrix-Schema (also spalten- und zeilenweise) erregt.

Farbdarstellung

Die Farbdarstellung erfordert je Pixel 3 einzeln ansteuerbare LCD-Bildpunkte, einen für jede Grundfarbe. Die Anzahl der Spaltenleitungen bzw. der Transistoren verdreifacht sich entsprechend. Die eigentliche Farbdarstellung wird nicht durch das LCD-Material bewirkt, sondern kommt durch Farbfilter-Anordnungen in der Abdeckung zustande.

Ansteuerung einer LCD-Matrix

LCD-Flachbildschirme brauchen mehrere (beispielsweise 5 oder 6) abgestufte Spannungen (üblicherweise mit V_{L1} , V_{L2} usw. bezeichnet), die durch Spannungsteilung und Stabilisierung aus der Betriebsspannung abgeleitet werden. Abbildung 2.8 zeigt eine typische Schaltung sowie einige Anhaltspunkte zur Dimensionierung, die auch beim Messen, Ersetzen und Justieren eine Hilfe sein können.

Abbildung 2.8 Spannungen zum Betrieb eines LCD-Bildschirms (Kyocera)

Abbildung 2.9 veranschaulicht eine typische LCD-Anordnung mit Spannungsversorgung und Treiberschaltkreisen.

Abbildung 2.9 LCD-Flachbildschirm mit Ansteuerung (Texas Instruments)

Zeilen- und Spaltentreiber sind integrierte Schaltkreise (Abbildungen 2.10, 2.11), die üblicherweise direkt auf einer der Glasplatten der Anzeigebaugruppe angeordnet werden. Sie werden nach dem Schieberegisterprinzip angesteuert.

Abbildung 2.10 LCD-Zeilentreiber SN553491 (Texas Instruments)

Erklärung:

Der Schaltkreis treibt 80 Zeilen- bzw. COM-Elektroden. Das steuernde Bitmuster wird seriell eingeschoben (Daten über SIN, Takt über SCK). Für ein Display mit $640 \cdot 480$ Bildpunkten sind 6 derartige Schaltkreise notwendig.

Abbildung 2.11 LCD-Spaltentreiber SN553492 (Texas Instruments)

Erklärung:

Der Schaltkreis treibt 80 Spalten- bzw. SEG-Elektroden. Das steuernde Bitmuster wird zu 4 Bits parallel in eine Schieberegisteranordnung übernommen (Daten: D0...D3, Takt: SCK). Für ein Display mit $640 \cdot 480$ Bildpunkten sind 8 derartige Schaltkreise notwendig.

Erklärung zu beiden Schaltkreisen:

- Eingang M: Das Eingangssignal entspricht der Vertikal- bzw. Bildsynchronisation beim herkömmlichen Monitor (Frame Signal). Es bewirkt im Zeilentreiber die Parallelübernahme der eingeschobenen Bits.

- Eingang DST: Das Eingangssignal des Spaltentreibers entspricht der Horizontalsynchronisation beim üblichen Monitor. Es bewirkt die Parallelübernahme der eingeschobenen Bits.
- Die TEST-Eingänge: Damit kann man die Ansteuerung der LCD-Anzeige unabhängig von einem angeschlossenen Videoadapter prüfen (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 Die LCD-Ansteuersignale der Treiberschaltkreise. Links: Zeilen-, rechts: Spaltentreiber (Texas Instruments)

Die verbleibenden Signale dienen der Kaskadierung (dem Zusammenschalten mehrerer gleichartiger Schaltkreise) sowie der Betriebsartenwahl.

Abbildung 2.12 zeigt die Ausgangsstufe eines Zeilen- und eines Spaltentreibers. Erkennbar ist, daß es sich praktisch um Analogschalter handelt, die VL1...VL6 zur jeweiligen Zeilen- oder Spaltenleitung durchschalten.

Abbildung 2.12 Ausgangsstufen zur LCD-Ansteuerung. a) Zeilen-, b) Spaltentreiber (Texas Instruments)

Das Interface zwischen Videocontroller und LCD-Anzeige

Ein halbwegs standardisiertes Interface (etwa vergleichbar zum Anschlußbild eines VGA-Monitors) gibt es nicht. Die Interfaces sind sich aber weitgehend ähnlich. Pixeldaten werden meist mit 2, 4, 8 oder 16 Bits parallel übertragen. Dabei werden meist die obere und die untere Hälfte des Bildschirms gleichermaßen angesteuert (der Zweck: schnellerer Bildaufbau, Vermeiden von Bildflimmern). Diese Auslegung erfordert zwei Spaltentreiber-Anordnungen (eine für die obere, eine für die untere Hälfte), die gleichzeitig zeilenweise mit Daten versorgt werden. Hingegen werden die Zeilentreiber von einem in der LCD-Baugruppe angeordneten Controller Zeile für Zeile weitergeschaltet.

LCD-Anzeigen in Labor und Service

1. Wir merken uns: Eine LCD darf nicht an Speisespannung, wenn keine Ansteuerung vorhanden ist! Das heißt: im Verdachtsfall zunächst prüfen, ob die Erregung funktioniert. Wie die Signale im einzelnen aussehen, ist weniger wichtig. Vielmehr geht es darum, ob die erforderlichen symmetrischen bzw. treppenförmigen Signale anliegen oder nicht.
2. Kontaktierung. Die Kontakte auf dem Glassubstrat einer LCD-Anzeige sind *nicht lötlbar* (entsprechende Reparaturversuche sind zwecklos). Die elektrisch leitenden Verbindungen werden über Kontaktfedern aus Metall oder aus leitfähigem Kunststoff hergestellt. (Es wären dann im Verdachtsfall zunächst diese Teile zu ersetzen.)

3. Lichtempfangende Bauelemente: Fotodioden und Fototransistoren

Fotodioden

Fotodioden 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 Fotodiode kann in zwei Betriebsweisen eingesetzt werden:

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

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

Fototransistoren

Der Fototransistor ist eine Transistorstruktur, deren Kollektor-Basis-Übergang wie eine Fotodiode betrieben wird. Bei Lichteinfall wirkt der erzeugte Fotostrom als Basisstrom, so daß - bei entsprechender Beschaltung - ein gemäß dem Stromverstärkungsfaktor stärkerer Kollektorstrom fließen kann.

Eine besonders hohe Stromverstärkung wird erreicht, indem man den Fototransistor in eine Darlington-Schaltung einbezieht.

Die Abbildungen 3.1 und 3.2 vermitteln ein Gefühl für die zu erwartenden Größenordnungen.

Abbildung 3.1 Fotodioden-Kennlinien. a) Betrieb als Fotoelement: der Fotostrom 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 (Siemens)

Abbildung 3.2 Kennlinien eines Fototransistors (Texas Instruments)

Erklärung:

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

- a) die Abhängigkeit der Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung von der Lichteinstrahlung,
- b) 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 Lichtstrahlung als Parameter.

Abbildung 3.3 zeigt typische Grundsaltungen mit Fotodioden und -transistoren.

Abbildung 3.3 Fotodioden und -transistoren: Grundsaltungen

Erklärung:

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

4. Lichtschranken und Optokoppler

Eine Lichtschranke besteht aus Lichtquelle und Lichtempfänger, wobei der Lichtweg auf mechanische Weise (durch ein im Strahlengang befindliches Hindernis) unterbrochen werden kann. Im PC-Bereich sind Lichtschranken meist Kombinationen aus IR-LEDs und Fototransistoren, 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 4.1). Er dient zur - nahezu perfekten - galvanischen Trennung zwischen Ein- und Ausgang. Ein wichtiger Vorteil: Im Gegensatz zum Transformator ist er vollkommen rückwirkungsfrei.

Abbildung 4.1 Aufbau von Optokopplern (Siemens)

Optokoppler werden in vielfältigen Ausführungsformen gefertigt (Abbildung 4.2), auch in Mehrfachanordnung.

Abbildung 4.2 Innenschaltungen von Optokopplern (Beispiele; Hewlett-Packard)

Erklärung:

- a) einfache LED-Fototransistor-Kombination,
- b) mit Verstärker, UND-Gatter und Open-Collector-Ausgang,
- c) mit Gleichrichter für Wechselstrom-Ansteuerung,
- d) mit Verstärker und TTL-kompatiblem Ausgang.

Die LED eines Optokopplers wird genauso angesteuert wie eine Anzeige-LED. Die meisten Optokoppler führen ausgangsseitig Logik- oder Interfacesignale.

Gabellichtschranken und Drehgeber

Solche einfachen Lichtschranken sind praktisch Optokoppler mit freiliegendem, unterbrechbarem Strahlengang. Sie werden eingesetzt, um Endlagen, Bewegungen und Bewegungsrichtungen zu signalisieren. Abbildung 4.3 zeigt eine einfache Gabellichtschranke.

Die Lichtschranke wird zum Drehgeber, wenn im Lichtstrahl eine entsprechend in Teilen lichtdurchlässige Scheibe rotiert.

Abbildung 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 folgendes gewährleistet sein:

1. wenn eine Lichtschranke voll abgedeckt wird, muß die andere voll durchlässig sein,
2. die Öffnungen müssen einen solchen Abstand haben, daß das Freigeben der einen und das Abdecken der anderen Lichtschranke mit einer Phasenverschiebung von 90° erfolgt.

Die Abbildungen 4.4 und 4.5 zeigen eine solche Einrichtung.

Abbildung 4.4 Bewegungs- oder Drehrichtungsgeber. a) Aufbau, b) Ausgangssignale (bei umgekehrter Richtung wird zuerst Kanal B aktiv und dann Kanal A; Hewlett-Packard)

Abbildung 4.5 Gestaltung der Codescheibe bzw. des Codestreifens (Hewlett-Packard)

Erklärung:

Numerieren wir die Fotodioden in Abbildung 4.4 von oben nach unten mit 1, 2, 3, 4 durch. Nun bewegt sich die Codescheibe in der Abbildung nach oben. Dann wird zunächst Nr. 2 verdeckt, während 1 noch Licht erhält. Nr. 3 bleibt weiterhin verdeckt, und Nr. 2 erhält Licht. Bei umgekehrter Bewegungsrichtung wird zunächst Nr. 1 verdeckt, und Nr. 2 erhält noch Licht

usw. (Vgl. damit die Abschnitte S1...S4 in Abbildung 4.4b). Es ist ersichtlich, daß man durch Auswerten dieser logischen Zusammenhänge ohne weiteres die Dreh- oder Bewegungsrichtung erkennen kann. Dabei ist die mechanische Gestaltung der Codescheibe oder des Codestreifens sehr einfach.

Derartige Drehgeber bilden die Grundlage der meisten elektromechanischen Mäuse.

5. CCD-Bildwandler

CCD-Bildwandler sind die Grundlage der Scanner und der meisten Videokameras. Solche Bildwandler (CCD Image Sensors) sind für eine bestimmte Auflösung (in Pixeln) ausgelegt. Je Pixel ist in einem Silizium-Substrat eine lichtempfindliche Fläche vorgesehen. Es gibt lineare Anordnungen mit nur einer Pixelreihe (z. B. für Scanner) und zweidimensionale matrixförmige Anordnungen.

Dem einzelnen Pixel entspricht eine Fläche von beispielsweise $12,7 \mu\text{m}$ (0,5 mil) Seitenlänge. Eintreffendes Licht erzeugt dort Elektronen-Löcher-Paare, wobei die Löcher ins Substrat abwandern und die Elektronen auf den Pixel-Flächen (Photosites) angesammelt werden. Sie bauen dort eine Ladung auf. Diese Ladungen werden seriell nach dem Eimerkettenprinzip abtransportiert.

Abbildung 5.1 veranschaulicht das Eimerkettenprinzip an einem einfachen Kondensatormodell. In CCD-Bauelementen wird das Weiterschalten durch MOS-Transfer-Gates verwirklicht.

Abbildung 5.1 Erklärung des Eimerkettenprinzips

In den Abbildungen 5.2, 5.3 zeigen wir einige Einzelheiten anhand eines Beispiels. Es handelt sich um einen linearen Bildwandler mit 3456 Pixeln. Damit wird über eine Länge von 8,5 Zoll (215,9 mm) eine Auflösung von 400 dpi (dots per inch) gewährleistet.

Abbildung 5.2 Der CCD-Bildwandler TC104-1. Anschlußbild und Signalbeschreibung (Texas Instruments)

Abbildung 5.3 Der CCD-Bildwandler TC104-1. Blockschaltbild (Texas Instruments)

Abbildung 5.4 Der CCD-Bildwandler TC104-1. Impulsdiagramm (Texas Instruments)

Weitere Einzelheiten:

- die Ladungen der lichtempfindlichen Flächen (Photosites) werden zunächst parallel über Transfer-Gates in zwei Ladungsspeicher-Eimerketten übernommen. Dann werden die geraden und die ungeraden Pixel parallel ausgeschoben.

- die Schaltung liefert ausgangsseitig ein analoges Signal mit einem Spitzenwert von etwa 0,6 V.
- es sind 4 zusätzliche Pixel (Reference Pixels) vorgesehen. Davon sind zwei voll-ständig abgedeckt, und zwei werden durch eine eingebaute Leuchtdiode erregt. Auf diese Weise ist leicht prüfbar, welche Signale für "voll schwarz" und welche für "voll weiß" abgegeben werden.