

Vereinfachte Ansteuerung gedruckter Elektrolumineszenz-Displays mit passiver Matrix

Ivanov, Artem

Hochschule Landshut

Kurzfassung

Als Elektrolumineszenz (EL) wird das Leuchten einer Phosphorschicht im elektrischen Feld bezeichnet. Diese Erscheinung findet in Anwendungen wie Hintergrundbeleuchtung oder Spezialdisplays ihren Einsatz. Die Möglichkeit, Elektrolumineszenz-Elemente mit Druckprozessen auf biegsamen Substraten herzustellen, macht den Einsatz von Elektrolumineszenz in den Bereichen der gedruckten Elektronik, in den Wearables und Smart Textiles interessant. Die relativ aufwendige Treiberelektronik, die für den Betrieb der EL Displays eingesetzt wird, verbietet allerdings die Anwendung in kostensensitiven Applikationen.

In dieser Arbeit wird eine vereinfachte Methode der Ansteuerung von EL Displays vorgestellt, die mit den auf dem Markt verfügbaren Bauteilen kostengünstig realisiert werden kann. Es wird das Prinzip erklärt, ein eingebettetes Testsystem beschrieben und die Ergebnisse werden diskutiert.

1. Einführung

Heutzutage besitzen sehr viele Geräte eine Anzeige oder ein Display, um ihre Bedienung für die Nutzer einfacher zu gestalten. Die Technologien hinter den Anzeigeelementen sind sehr vielfältig und reichen von simplen LEDs über LCD-Panels bis zu den grafischen TFT- oder OLED-Displays.

Die Elektrolumineszenz-Anzeigen haben sich auf dem Markt für Anwendungen etabliert, die besondere Anforderungen bezüglich des Temperaturbereichs, der Luftfeuchtigkeit oder der mechanischen Belastungen wie Schock und Vibration abdecken. Außerdem sind sie durch hohe Helligkeit und Kontrast, großen Betrachtungswinkel und lange Lebensdauer charakterisiert [1].

Auch bei den derzeit immer wichtiger werdenden kostensensitiven Anwendungen in den Feldern der gedruckten Elektronik, der Wearables und den smart Textiles können die Elektrolumineszenz-Anzeigen punkten. Grund dafür ist die Möglichkeit, sie mithilfe verbreiteter Druckverfahren herstellen zu können [2],[3]. Damit sind z.B. biegsame Displays auf Plastik- oder Papiersubstraten realisierbar.

Für die Herstellung solcher Anzeigen mittels Siebdrucks sind auf dem Markt Pastensysteme von einigen Herstellern erhältlich, die für Elektrolumineszenz-

Lampen entwickelt worden sind, wie sie im Automotivbereich oder für Werbung eingesetzt werden [4],[5],[6].

In der vorgestellten Arbeit wird eine vereinfachte Ansteuerungselektronik für Elektrolumineszenz-Displays mit passiver Matrix vorgestellt. Sie verwendet nur zwei Spannungspegel (0 V und Hochspannung) und existierende Treiber-ICs in einer neuartigen Konfiguration, die sie deutlich einfacher im Vergleich zu bestehenden Systemen machen. Die Elektronik kann als kompaktes und kostengünstiges Treibermodul für ein übergeordnetes eingebettetes System oder als eine Stand-Alone Lösung für Anzeigenanwendungen verstanden werden.

1.1. Grundlagen Elektrolumineszenz

Unter Elektrolumineszenz (EL) versteht man das Leuchten eines Stoffes (Phosphor) im elektrischen Feld. Als Beispiel für Phosphormaterial sei mit Mangan aktiviertes Zinksulfid ZnS:Mn [7] genannt. Das Leuchten entsteht, wenn die im ZnS vorhandenen Elektronen ausreichend viel Energie aus dem angelegten elektrischen Feld bekommen und sie an die Aktivator-Atome (Mn) abgeben. Die angeregten Aktivator-Atome strahlen diese Energie bei ihrer Relaxation als Photonen im sichtbaren Bereich des Lichts aus (Lumineszenz). Die für diesen Prozess notwendige Feldstärke liegt im Bereich von 1 MV/cm; die Farbe des erzeugten Lichts hängt von den eingesetzten Aktivatoren ab und kann damit eingestellt werden.

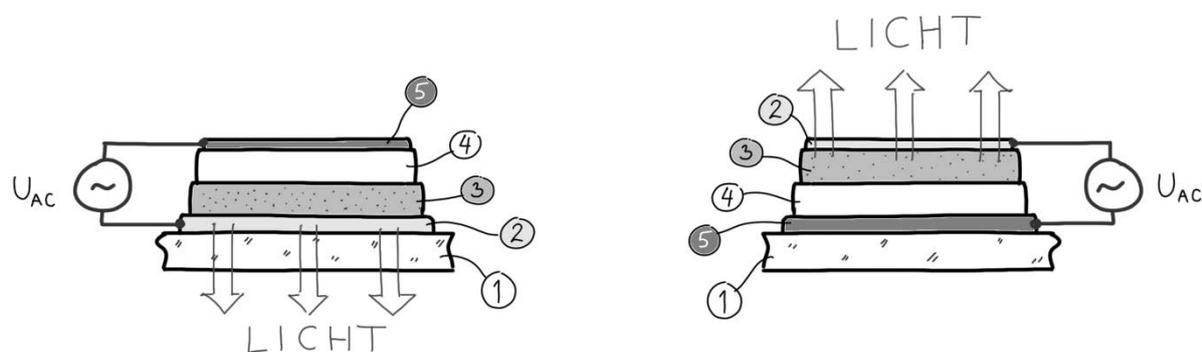


Abb. 1: Prinzipaufbau einer Elektrolumineszenz-Lampe: Auf dem Substrat (1) wird eine Stapel-Struktur aufgebaut, in der zwischen der durchsichtigen (2) und der undurchsichtigen Elektrode (5) die Phosphor-Schicht (3) und die Dielektrikum-Schicht (4) platziert wird. Die durchsichtige Elektrode kann sich entweder auf dem durchsichtigen Substrat (links) oder auf der Oberseite des Stapels befinden (rechts).

Zur Realisierung von EL Anzeigen wird eine planare kondensatorähnliche Struktur verwendet, in der zwischen zwei Elektroden eine Phosphor-Schicht platziert wird. Zusätzlich zur Phosphor-Schicht wird meistens ein Dielektrikum eingesetzt, das die Spannungsfestigkeit des Kondensators erhöht. Eine der Elektroden muss durchsichtig sein, um die Lichtstrahlung im Betrieb durchzulassen; dafür werden

meistens entweder Indiumzinnoxid-Schichten (ITO) oder leitfähige Polymer-schichten eingesetzt. Der Prinzipaufbau einer flächigen Elektrolumineszenz-Lampe ist in Abb. 1 gezeigt.

1.2. Eigenschaften der praktischen Realisierungen

In den praktischen Realisierungen werden die EL Stapel aus dünnen Schichten aufgebaut, um die für das Erreichen der notwendigen Feldstärke erforderliche elektrische Spannung in sinnvollen Grenzen zu halten. Die typischen Dicken der Stapel betragen von 1 μm bis 100 μm , so dass sie mittels Dünnschichttechnologie (in Vakuumprozessen, z.B. Sputtern) oder Dickschichttechnologie (z.B. Sieb- oder Ink-Jet-Druck) aufgebaut werden. Trotz der dünnen Schichten, sind die für den Betrieb notwendigen Spannungen relativ hoch: die Schwellenspannungen liegen im Bereich von 50 V bis 150 V [4],[7]. Die angelegte Spannung muss die Schwellenspannung übersteigen, um das Leuchten hervorzurufen.

Eine weitere wichtige Bedingung für Lichterzeugung mittels Elektrolumineszenz ist der Betrieb der Stapelstruktur an einer Wechselspannung (U_{AC}), wie in Abb. 1 angedeutet. Wäre der EL Stapel an eine Gleichspannung angeschlossen, würde es zur Vollaufladung des Kondensators führen, d.h. der Elektronenfluss wäre zum Erliegen gekommen. Damit würde auch die Lumineszenz beendet, da sie an die Bewegung der Elektronen gekoppelt ist. Bei dem AC-Betrieb wird der EL Stapel ständig umgepolt, so dass sich die Elektronen ständig zwischen den Elektroden sich alternierend bewegen. Gewöhnlich werden Betriebsfrequenzen f_{EL} im Bereich von 50 Hz bis einigen kHz eingesetzt.

2. Analyse bestehender Ansteuerungsmethoden von EL Anzeigen

Die unten stehende Analyse von existierenden Verfahren der Ansteuerung von EL Anzeigen ist aus Sicht ihrer Eignung für den Einsatz in Low-Cost-Geräten und ihrer einfachen Realisierung in einem eingebetteten System durchgeführt.

2.1. Piktogramm-basierte Anzeige

Die einfachste Variante der Anzeige ist die Piktogramm-basierte. Hierbei sind die Informationen über leuchtende Bilder (Piktogramme) dargestellt, die vom Nutzer eindeutig verstanden werden können, wie z.B. Batteriezustandsanzeigen. Solche fast beliebig geformte leuchtende Elemente werden bei der Herstellung der Anzeige erzeugt; für die kostensensitiven Anwendungen eignet sich dafür der Siebdruckverfahren.

Die Erzeugung von elektrischen Spannungen für diesen Anzeigetyp kann mit den ICs realisiert werden, die für den Betrieb von EL Lampen entwickelt wurden. Die am meisten verbreitete Topologie solcher Elektroniken ist in Abb. 2 gezeigt

(z.B. MIC4826, HV857 [8], MAX14514 [9]). Hier wird die für die EL Lampe notwendige Wechselspannung mithilfe einer H-Brücke erzeugt. Dabei kann der DC/DC-Wandler für die Erzeugung der Hochspannung als Ladungspumpe realisiert werden (z.B. HV852 von Microchip [8]).

Auf dem Markt sind die Hochspannungsmultiplexer in kompakten Gehäuseformen erhältlich, die bis 16 EL Lampen ansteuern können (z.B. HV509 [8]). Solche ICs können erfolgreich in kostensensitiven Anwendungen eingesetzt werden.

Eine Alternative, die sich für relativ einfache Ansteuerung der Multisegmentanzeigen eignet, ist die Topologie von Rogers Corporation (z.B. D355B [10]). In dieser Variante wird die EL Lampe nicht zwischen zwei IC Anschlüssen, sondern relativ zur Masse betrieben.

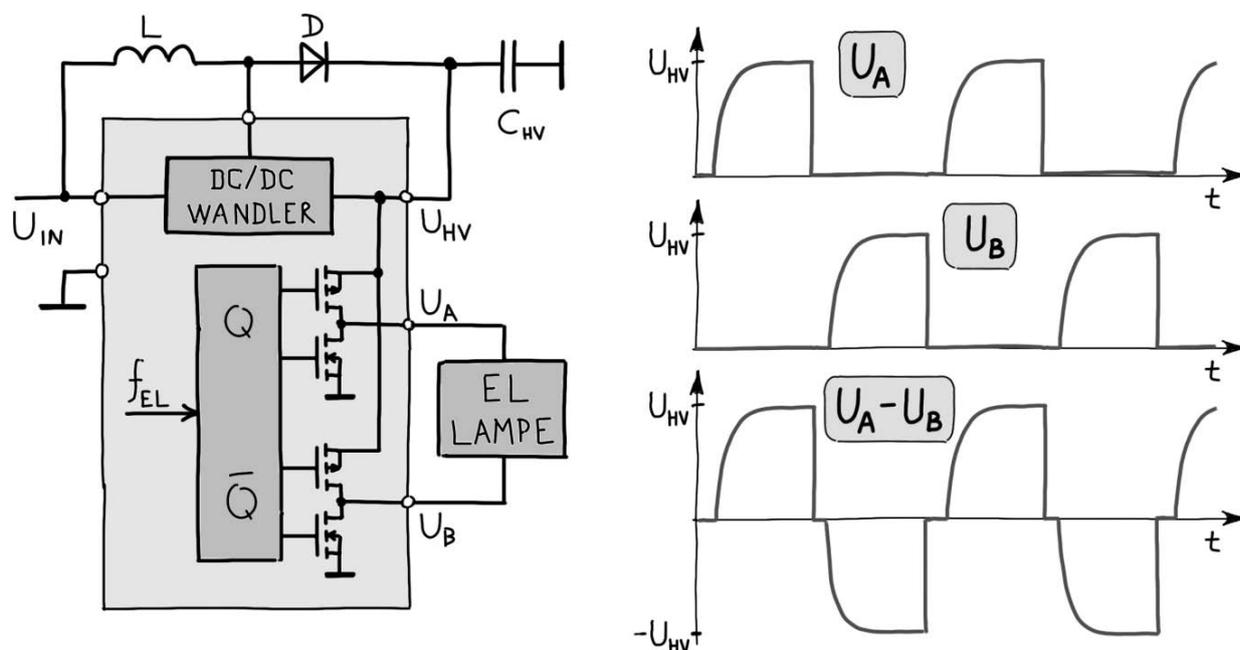


Abb. 2: Prinzipschaltbild eines Treiber-IC für EL Lampen und die Spannungsverläufe an den Lampenanschlüssen, $U_{IN} \approx 3 \text{ V}$, $U_{HV} \approx 100 \text{ V}$.

2.2. EL Displays mit passiver Matrix

Für Geräte mit großem Funktionsumfang kann eine Piktogramm-basierte Anzeige nicht ausreichend sein; dann wird eine grafische Anzeige wichtig. Dabei ist ein Display gemeint, dessen Inhalt dynamisch geändert werden kann, um der aktuellen Einsatzsituation zu entsprechen, oder um beliebige (per Software konfigurierbare) Inhalte darstellen zu können.

Die grafischen Anzeigen lassen sich kostengünstig im Siebdruckverfahren als Displays mit passiver Matrix implementieren. Die Pixel solcher Displays formen sich an den Überkreuzungen von streifenförmigen Zeilen- und Spaltenelektroden. Der Aufbau des Displays ist ähnlich dem einer EL Lampe mit dem Unter-

schied, dass die Elektroden an der tiefsten Lage des Stapels (Zeilen) und an der obersten Lage (Spalten) segmentiert sind und einzeln kontaktiert werden können. Die Dielektrikum- und die Phosphor-Schichten sind über das ganze Displayfeld durchgängig angebracht.

Wird an eine Zeilenelektrode und eine Spaltenelektrode elektrische Wechselspannung angeschlossen, leuchtet die Phosphorschicht an der Stelle, wo sie sich kreuzen. Um ein Bild auf dem Display aufzubauen, werden die Zeilen nacheinander zyklisch angesprochen.

Dünnschicht EL Displays (TFEL) mit passiver Matrix sind seit den 80-er Jahren auf dem Markt erhältlich; ihre richtige Ansteuerung ist Gegenstand von mehreren Patenten (s. z.B. [11],[12],[13]). Das darunterliegende Prinzip kann wie folgt beschrieben werden [11]: jede Zeilenelektrode und jede Spaltenelektrode vom Display wird an eine ihr zugeordnete Treiberschaltung angeschlossen. Die Zeilenelektroden werden nacheinander mit der „write“-Spannung beaufschlagt (eine negative Pulsspannung mit dem Wert unter der Schwellenspannung für Elektrolumineszenz, typisch ca. -160 V [12]). Gleichzeitig werden die Spaltenelektroden von den „leuchtenden“ Pixeln dieser Zeile mit der „modulation“-Spannung aktiviert (eine positive Pulsspannung von typisch ca. +50 V [12]). Nachdem alle Zeilen angesprochen sind, muss die in den aktivierten Pixeln gesammelte Ladung entfernt werden. Dies geschieht mit einem „refresh“-Spannungspuls an alle Zeilenelektrode gleichzeitig (typisch ca. +190 V [12]). Damit ist ein Frame abgeschlossen.

Es ist ersichtlich, dass die notwendige Treiberelektronik aufwendig aufgebaut werden muss, um mehrere Hochspannungspegel zu erzeugen und die Displayelektroden mit diesen zu kommutieren. Dieses Konzept lässt sich nicht für die Low-Cost-Artikel verwenden. Andererseits werden an die Anzeigeelemente in „Einweggeräten“ nicht die hohen Ansprüche von Industriegeräten gestellt.

Um die Ansteuerungselektronik deutlich zu vereinfachen (aber Abstriche in der Qualität der Anzeige dafür in Kauf zu nehmen) kann auf die auf dem Markt erhältlichen Treiber-ICs für EL Lampen zugegriffen werden. In diesem Fall wird nur ein Hochspannungspegel notwendig sein. Die Kommutierung der Displayelektroden an die hohe Spannung kann z.B. mit Optokopplern erfolgen [3]. Ein Nachteil dieser vereinfachten Ansteuerungsmethode spiegelt sich im so genannten „Ghosting-Effekt“, der durch die unvermeidliche kapazitive Kopplung zwischen den Display-Elektroden verursacht wird, vgl. Abb. 3. Außerdem ist der Einsatz von Optokopplern in den Geräten aus dem Niedrigpreissegment schwierig.

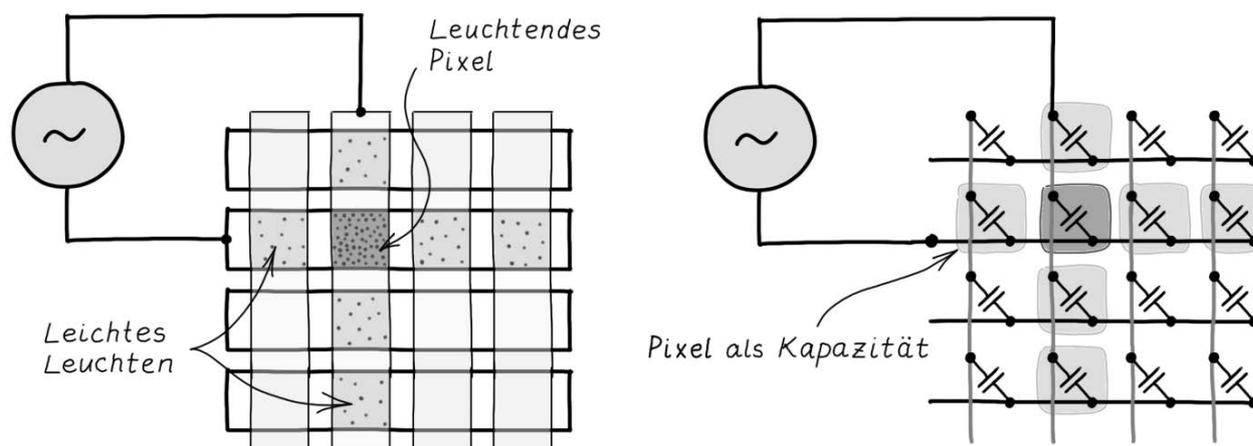


Abb. 3: Der „Ghosting-Effekt“ bei Displays mit passiver Matrix zeigt sich durch das unerwünschte Aufleuchten der nicht angesprochenen Pixel (links). Der Grund ist die kapazitive Kopplung zwischen den Display-Elektroden, die zu ausreichend hoher Spannung an diesen Pixeln führen kann (rechts).

Durch die Verwendung von geschickter Ansteuerungslogik und schnellen Push-Pull-Treiberstufen mit Tri-State-Ausgang, die relativ einfach diskret aufgebaut werden können, soll eine effektive Eliminierung vom „Ghosting-Effekt“ möglich sein [14]. Der Nachteil dieser Methode ist zum einen das Fehlen der geeigneten Treiber-ICs, um eine miniaturisierte und kostenoptimierte Elektronik bauen zu können. Außerdem ist die Anpassung des Timings der Ansteuerung an die angezeigten Inhalte zeitintensiv und eine hohe Zeitauflösung dieses Timings seitens des Mikrocontrollers notwendig.

2.3. EL Displays mit aktiver Matrix

Bei den Displays mit aktiver Matrix beinhaltet jedes Pixel eine separate Steuerungsschaltung, die auf dem gleichen Träger realisiert werden muss [7]. Dieses System ist derzeit nicht im Siebdruckverfahren herstellbar, da keine Pasten verfügbar sind, die die aktiven Elemente der Pixel realisieren lassen.

3. Alternativmethode der Display-Ansteuerung

Das parasitäre Leuchten von Pixeln, verursacht durch den „Ghosting-Effekt“, ist ein deutliches, sofort sichtbares Merkmal, das die wahrgenommene Wertigkeit des Displays stark beschränkt. Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung einer möglichst einfachen Treiber-Elektronik für ein EL Display mit passiver Matrix, die den Effekt eliminiert und trotzdem in Low-Cost-Anwendungen eingesetzt werden könnte. Als Illustration wird ein System vorgestellt, welches auf Basis eines mit Siebdruck hergestellten Displays mit 5 x 10 Pixel eine Laufzeile-Applikation realisiert.

3.1. Grundidee und Signalformen

Die vorgeschlagene Lösung basiert auf der Notwendigkeit des Wechselspannungsbetriebs von einem EL Stapel für ein dauerndes Leuchten (vgl. Abschnitt 1.2). Auch wenn nicht die Gleichspannung an den EL Stapel angeschlossen ist, sondern eine unipolare Wechselspannung, wird kein nennenswertes Leuchten erzeugt. Als unipolar wird hier eine Spannung bezeichnet, die zwar zeitveränderlich ist, ihre Polarität aber nicht wechselt. Es bedeutet, die Feldrichtung im EL Stapel bleibt gleich.

Bei jedem Wechsel der Spannungspolarität an einem EL Stapel wird ein kurzzeitiges Leuchten erzeugt – ein „Lichtblitz“. Die Dauer eines solchen Lichtblitzes bei der verwendeten Phosphorpaste wurde aus indirekten Messungen als $\tau_{Blitz} < 100 \mu s$ abgeschätzt; nach dieser Zeit wird kein Licht mehr emittiert. Der Wechselspannungsbetrieb kann unter diesem Blickwinkel als kontinuierliche Folge von vielen Lichtblitzen verstanden werden.

Für den Betrieb des EL Displays wird im Wesentlichen eine Wechselspannung mit der Frequenz von $f_{EL} \approx 1 \text{ kHz}$ verwendet, die als rechteckiges Signal betrachtet werden kann, das zwischen zwei Spannungspegeln ($U_0 = 0 \text{ V}$ und $U_{HV} \approx 100 \text{ V}$) wechselt. Für die Generierung und Verteilung dieser Wechselspannung eignen sich ICs, die für den Betrieb von EL-Lampen vorgesehen sind und auf dem Markt gut erhältlich sind (vgl. Abschnitt 2.1).

Während eines Frames mit der Dauer T_{Frame} wird jede der fünf Zeilen des Displays der Reihe nach angesprochen, um das Gesamtbild aufzubauen. Diese Dauer muss kurz genug sein, damit das Auge das entstehende Blinken nicht wahrnehmen kann. Wie die Experimente gezeigt haben, sollte T_{Frame} kleiner als 30 ms sein.

Es ist möglich, die Phasen der rechteckigen Signale, mit denen die Zeilen und die Spalten der Matrix beaufschlagt werden, so zu wählen, dass die leuchtenden Pixel während eines Frames eine große Anzahl der Lichtblitze produzieren, wobei die dunklen Pixel kaum aufleuchten. In Abb. 4 sind die geeigneten Signale für die Erzeugung der zwei gezeigten leuchtenden Pixeln dargestellt; das Umschalten zwischen dem dunklen und dem leuchtenden Zustand eines Pixels geschieht durch die Phasenänderung des Signals von entsprechender Spalte bei der Ansprache der gegebenen Zeile. Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, weisen die Pixelspannungen (z.B. $Z1 - Sp1$) Abschnitte mit echten Wechselspannungen, in deren Lichtblitze produziert werden, und Abschnitte mit unipolaren Spannungen, in deren kein Leuchten stattfindet. Der Mittelwert der Pixelspannung ist Null und entspricht damit der empfohlenen Betriebsweise für EL Stapel.

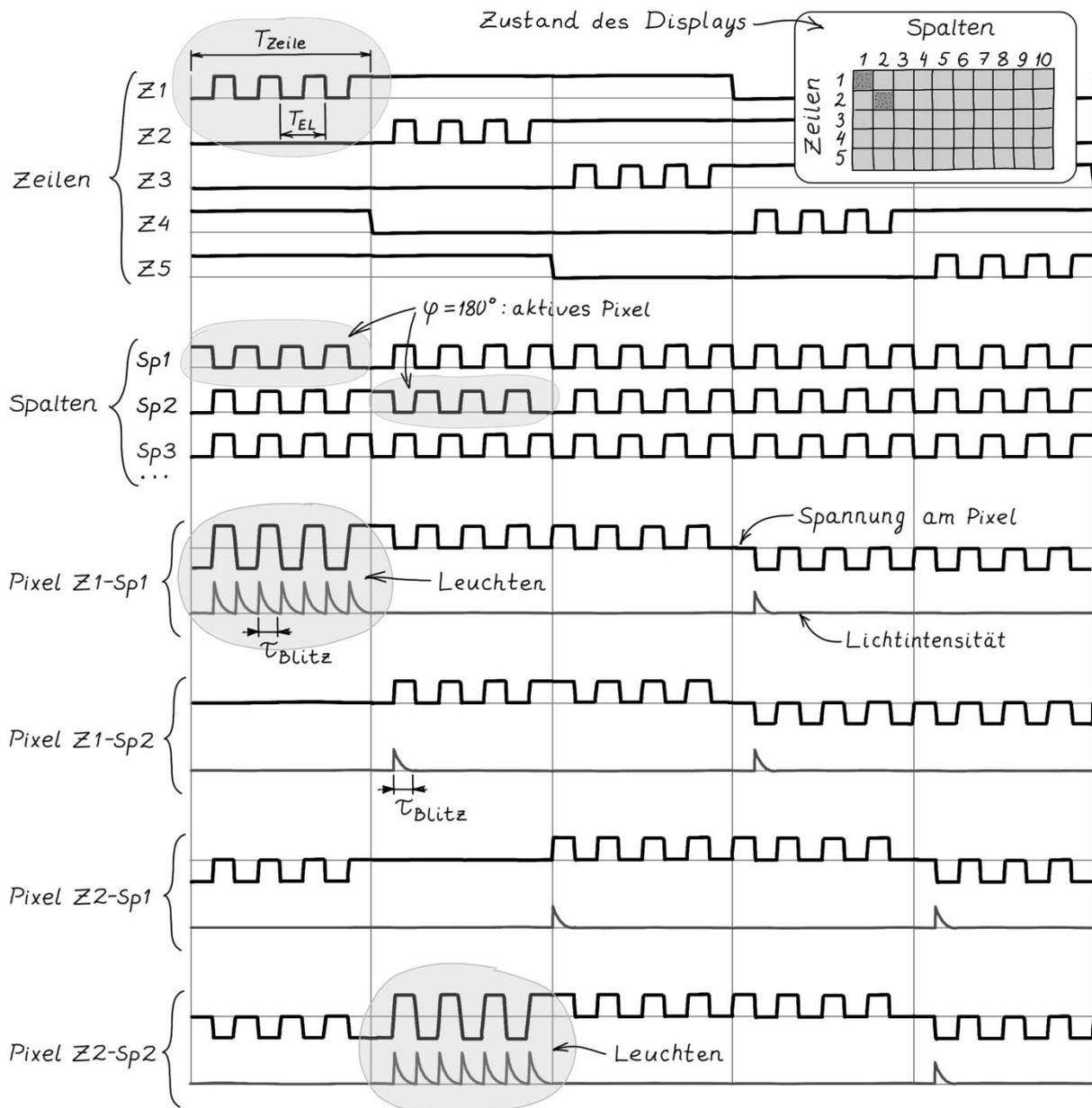


Abb. 4: Skizze zu den Spannungssignalen an den Zeilen und Spalten des Displays während eines Frames, für den Fall der Matrix mit 5 x 10 Pixeln. Die Betriebsfrequenz beträgt $f_{EL} = 1/T_{EL} \approx 1\text{kHz}$, die Dauer eines Frames $T_{Frame} = 5 \cdot T_{Zeile} \approx 30\text{ms}$. Der Unterschied in der Leuchtstärke zwischen einem leuchtenden Pixel (hier Z1 – Sp1 und Z2 – Sp2) und einem dunklen Pixel ist durch die Zahl der Lichtblitze während der Umpolung des EL Stapels verursacht.

3.2. Praktische Realisierung eines Testsystems

Die vorgeschlagene Ansteuerungsmethode für ein EL Display wurde in einem autonomen eingebetteten System überprüft. Das System hat in der Form einer „Nacht Uhr“ ihre Anwendung als Produktionsobjekt im Praktikum des Moduls „Product Engineering in der Elektronikindustrie“ an der Hochschule Landshut Platz gefunden.

Das EL Display wird mittels Siebdruckverfahrens hergestellt: als Substrat dient eine PET Folie, die Spaltenelektroden bestehen aus einem durchsichtigen leitenden Polymer. Derzeit werden die Pasten der Firma Gwent [4] verwendet. Das Display ist als eine Matrix mit fünf Zeilen und zehn Spalten ausgeführt. Außerdem ist auf dem gleichen Substrat eine Piktogramm-Anzeigefläche platziert (das Logo der Hochschule). Damit besitzt das Display 16 Anschlüsse und dient zur Demonstration beider Anzeigevarianten.

Das Testsystem ist um einen Mikrocontroller der „Value line series“ von Texas Instruments aufgebaut (MSP430G2413) und setzt auf das IC HV509 von Microchip als Hochspannungsmultiplexer (vgl. Abb. 5) [8],[15]. Die Hochspannung $U_{HV} \approx 100\text{ V}$ wird aus $U_{IN} = 3\text{ V}$ von einer Knopfzelle generiert. Der Mikrocontroller überwacht die Eingabetaster (nicht gezeigt) und bereitet Daten für die Darstellung eines Textes (Uhrzeit und Kalender) auf dem EL Display vor. Über den Multiplexer werden die Hochspannungssignale erzeugt und verteilt.

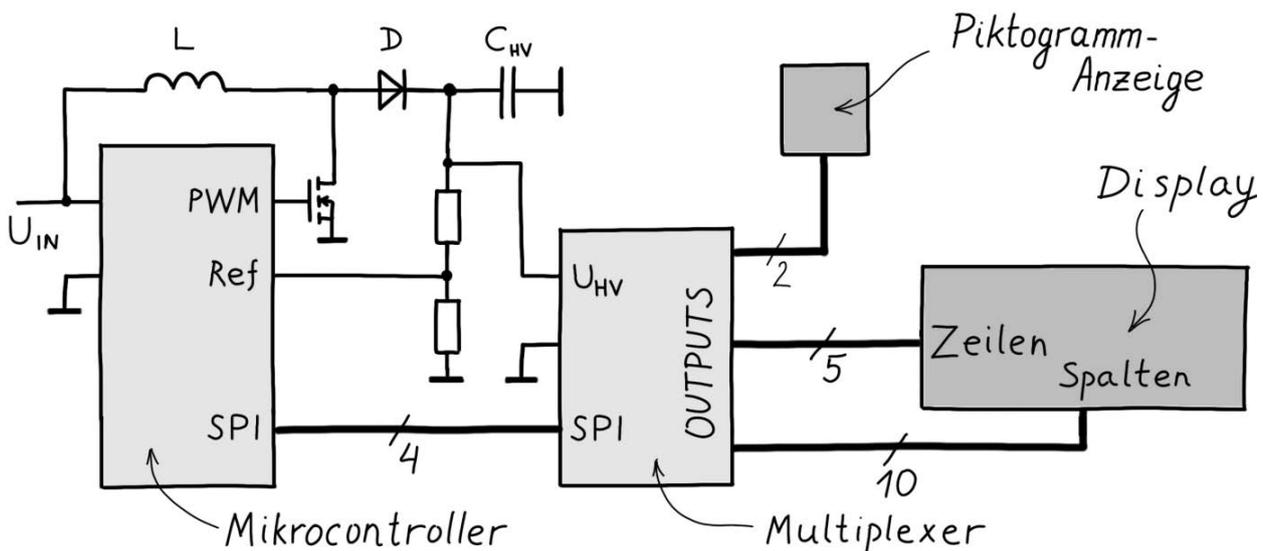


Abb. 5: Schaltbild des eingebetteten Systems. Die eingesetzten ICs: Mikrocontroller – MSP430G2413, Multiplexer – HV509; das Display ist mittels Siebdruck auf einem flexiblen Plastikträger hergestellt.

Da das Hochspannungsmultiplexer-IC nur für den Betrieb von EL Lampen vorgesehen ist, müssen die für die Display-Ansteuerung notwendigen Signale mit Hilfe des Mikrocontrollers erzeugt werden. Um die Signalformen aus Abb. 4 zu generieren, werden die Daten zu den auszugebenen Spannungspegeln an den Multiplexer mit den zeitlichen Abständen von $T_{EL}/2$ über die SPI-Schnittstelle übertragen.

Die Vorbereitung der Daten erfolgt mit einer einfachen Logik, so dass keine großen Anforderungen an den Mikrocontroller gestellt werden. Die Schriftzeichen für die Textdarstellung wurden in Arrays zusammengefasst, mit 4 bis 6 Bits pro Zeichen. Eine Textzeile mit bis zu 16 Zeichen kann in C-Code als eine 64-Bit Inte-

ger-Variable dargestellt werden, um mit den einfachen Shift-Operationen den Effekt der Bewegung zu erzeugen. Die Gesamtrealisierung von der Uhr- und Kalenderfunktion, inklusive Einstellungs Menü und Signalerzeugung hat im Testsystem weniger als 4,5 kByte Flash- und 200 Byte RAM-Speicher in Anspruch genommen.

Hier soll noch eine kurze Bemerkung zu den Kosten der vorgeschlagenen Ansteuerungslösung gegeben werden: die eingesetzten ICs MSP430G2413 und HV509 können für den Stückpreis von ca. 0,75 € bzw. ca. 1,50 € bei den Distributoren erworben werden (Stand November 2015, jeweils bei 1000 Stück Abnahme). An die diskreten Bauteile sind keine besonderen Anforderungen gestellt.

4. Diskussion

Die vorgeschlagene Methode der Ansteuerung von Elektrolumineszenz-Displays mit passiver Matrix ist mit den auf dem Markt verfügbaren Bauteilen einfach realisierbar. Die Elektronik kann als kompaktes und kostengünstiges Treibermodul für ein übergeordnetes eingebettetes System oder als eine Stand-Alone Lösung für Anzeigeanwendungen eingesetzt werden. Besonders geeignet erscheinen Anwendungen im Bereich gedruckter Elektronik und Smart Textilien.

Ein Nachteil der Methode, der durch die Vereinfachung der Treiberelektronik zustande kommt, liegt in der Verschlechterung des Kontrastes der Darstellung. Der erreichbare Leuchtkontrast K des Displays kann als Verhältnis zwischen der Zahl der Lichtblitze berechnet werden, die in einem leuchtenden bzw. einem dunklen Pixel während eines Frames produziert werden. Für die im Testsystem eingesetzten Frequenzen beträgt er:

$$K = \frac{2 \cdot T_{Zeile} / T_{EL}}{2} \approx 6 : 1$$

Dieser Kontrast ist ausreichend, um das Display unter gedämpfter Beleuchtung zu benutzen, insbesondere wenn bewegte Objekte, wie eine laufende Textzeile dargestellt werden sollen. Unter Tagesbeleuchtung ist die Anzeige schlecht lesbar.

Es gibt Möglichkeiten, den Kontrast zu erhöhen. So kann er durch die Erhöhung der Arbeitsfrequenz f_{EL} gesteigert werden. Zusätzlich ist in einigen Anwendungen die Reduzierung der Zeilenzahl denkbar, z.B. lässt sich eine 4-Stellige 7-Segmentanzeige für eine Digitaluhr als ein Display mit 2 Zeilen und 14 Spalten mit der gleichen Elektronik ansteuern. Damit wäre eine weitere Kontraststeigerung um etwa das Dreifache möglich.

Literatur

- [1] Beneq Products Oy: Technology – Thin Film Electroluminescent Displays. (Online) <http://lumineq.com/en/technology> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [2] Bock, Karlheinz: Manufacturing technologies for systems in foil. In: Plastic Electronics ISS 2012, 2012.
- [3] Olberding, Simon; Wessely, Michael; Steimle, Jürgen: PrintScreen: Fabricating Highly Customizable Thin-film Touch-Displays. In: Proceedings of the 27th annual ACM symposium on user interface software and technology, 2014, pp. 281-290.
- [4] Gwent Group: (online) http://www.gwent.org/gem_electroluminescent.html (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [5] DuPont: (online) <http://www.dupont.com/products-and-services/display-lighting-materials/electroluminescent-materials.html> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [6] Altana: (online) <http://www.elantas.com> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [7] King, Christopher: Electroluminescent Displays. In: MRS Spring Meeting - Symposium B – Flat Panel Display Materials, Volume 508, 1998, pp. 247-260.
- [8] Microchip Technology Inc.: (online) <http://www.microchip.com> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [9] Maxim Integrated: (online) <https://www.maximintegrated.com> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [10] Rogers Corporation: (online) <http://www.rogerscorp.com> (letzter Zugriff am 25.11.2015).
- [11] King, Christopher; et al.: Staggered refresh pulse generator for a TFEL panel. United States Patent 4691144, 1987.
- [12] Dolinar, Brian; et al.: Energy-efficient split-electrode TFEL panel. United States Patent 4739320, 1988.
- [13] Pietro, William; Fielder, Scott: Method and apparatus for driving an electroluminescent display. United States Patent 8810555, 2014.
- [14] Johnston, Duncan; Barnardo, Chris; Fryer, Chris: Passive multiplexing of printed electroluminescent displays. Journal of the Society for Information Display, 2005. Journal of the SID 13, 2005, H. 6, pp. 487-491.
- [15] Texas Instruments Inc.: (online) <http://www.ti.com> (letzter Zugriff am 25.11.2015).

Kontakt

Prof. Dr. Artem Ivanov
Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut
Am Lurzenhof 1
84036 Landshut
E-Mail: artem.ivanov@haw-landshut.de