



# Designnotat II

Tittel: Elektronisk terning

Forfattere: Jakob Furnesvik Eikeland

Versjon: 1.0

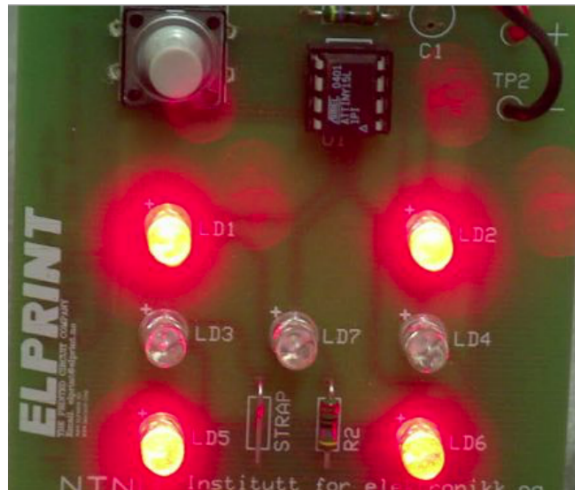
Dato: 11.02.2025

## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>3</b>
2.1	Teller	3
2.1.1	Styrekrets	3
2.2	Dekoder	4
2.3	Effektforbruk	5
<b>3</b>	<b>Realisering og test</b>	<b>6</b>
3.1	FPGA design	6
3.2	Oppkobling og måling	6
3.3	Effektforbruk	8
3.4	Drøfting	8
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>10</b>
	<b>Referanser</b>	<b>11</b>

# 1 Problembeskrivelse

En elektronisk terning er et system bestående av en skjerm og en knapp. Ved å holde inne knappen vil systemet simulere en terning som "triller" ved at alle tallene raskt vises på skjermen. Når en slipper knappen skal systemet vise tallverdien til "kastet" fram til knappen holdes inne igjen. Systemet kan se ut som i Figur 1.



**Figur 1:** Eksempel på elektronisk terning.

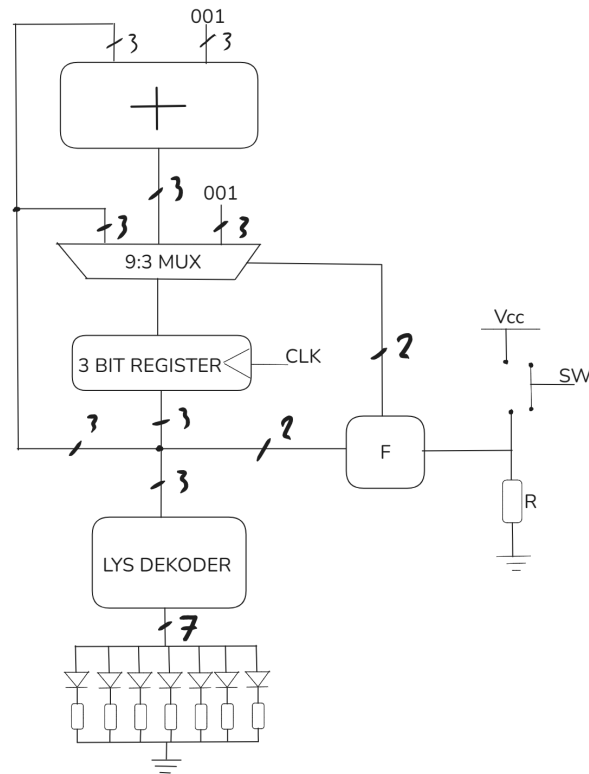
Her består skjermen av et sett med lysdioder satt opp i et mønster slik at de kan skrus på for hver tall verdi fra 1 til 6. Det totale effektforbruket til systemet vil variere med kombinasjonen av ulike farger på lysdiodene. For å undersøke dette skal en elektronisk terning designes ved bruk av en FPGA og tre forskjellige fargede lysdioder. Vi vil så undersøke:

1. Effektforbruket til systemet ved hvert mulig utfall.
2. Effektforbruket til systemet mens knappen holdes nede.
3. Forventet effektforbruk til systemet forutsatt at hvert utfall er like sannsynlig.

Effektforbruket som undersøkes ser vekk i fra effektforbruket til FPGA-brikken i alle tilfeller.

## 2 Prinsipiell løsning

For å lage systemet vil vi ta utgangspunkt i Figur 2.



**Figur 2:** Kretsskjema

Systemet består av en tellerkrets som lager binære tall fra 1 til 6 dersom knappen (SW) holdes inne. For at "kastene" skal virke tilfeldig kan et klokkesignal med relativt høy frekvens brukes, slik at tallene går for fort gjennom 1 til 6 til at vi kan bevist gjenskape et tall. Tallet vil så bli dekodet for å skru på de tilhørende lysdiodene til tallet.

### 2.1 Teller

Teller systemet kan realiseres slik som i Figur 2 med en 3 bits adderer, 9:3 MUX, 3 bits register og en styrekrets F. Addereren vil alltid legge til en til det lagrede tallet i registeret. 9:3 MUXen gir ut enten tallet fra telleren, det lagrede tallet i registeret eller tilbakestiller systemet til tallet en. Dette styres av styrekretsen F.

#### 2.1.1 Styrekrets

For at systemet skal kunne holde på tallverdien fra forrige "kast" og simulere at terningen "triller" trenger vi en styrekrets som styrer tilstanden til systemet. For dette lages to styre-

signaler,  $C_1$  og  $C_0$  som kobles til 9:3 MUXen slik at vi får oppførselen i Tabell 1.

**Tabell 1:** MUX tilstand

Utgang	$C_1$	$C_0$
Teller	0	0
Reset	0	1
Register	1	0
Ikke i bruk	1	1

Styrekretsen vil ta inn et 3 bits tall og en input K fra en pulldownbryter. Utrykkene for  $C_1$  og  $C_0$  kan vi hente fra Tabell 2.

**Tabell 2:** Styrekrets sannhetstabell

K	$T_2$	$T_1$	$T_0$	$C_1$	$C_0$
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	1

Slik at:

$$C_1 = \overline{K} \quad (1)$$

$$C_2 = T_2 \cdot T_1 \quad (2)$$

Med dette vil tellerkretsen kun telle når knappen holdes nede, kunne telle ifra 1 til 6 og bevare tallverdien fra "kastet" når knappen ikke holdes nede.

## 2.2 Dekoder

For å dekode de binære tallene fra teller kretsen til å skru på de tilhørende lysdiodene kan vi sette opp en sannhetstabell som Tabell 3.

**Tabell 3:** Sannhetstabell

Resultat av kast	$T_2$	$T_1$	$T_0$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
3	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
4	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
5	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
6	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0

Fra sannhetstabellen kan vi da hente ut uttrykk for de forskjellige utgangene som vi vil koble lysdiodene til:

$$U_1 = U_6 = T_2 \quad (3)$$

$$U_2 = U_5 = T_2 + T_1 \quad (4)$$

$$U_3 = U_4 = T_2 \cdot T_1 \quad (5)$$

$$U_7 = T_0 \quad (6)$$

## 2.3 Effektforbruk

For å regne ut effektforbruket kan vi utnytte at i en seriekobling vil:

$$I = I_R = I_D \quad (7)$$

Ved å måle spenningen over motstand  $V_{RD}$ , spenningen over systemet  $V_{DD}$  og motstanden  $R_D$ , kan vi finne effektforbruket til hver diode  $P_D$ :

$$P_D = V_{DD} \cdot I_D = V_{DD} \cdot \frac{V_{RD}}{R_D} \quad (8)$$

For å finne effektforbruket for alle mulige utfall kan vi så summere effektforbruket til de tilsvarende diodene:

$$P_x = \sum_i^x P_{D_i} \quad (9)$$

Det forventede effektforbruket til systemet kan vi regne ved:

$$P_F = \frac{1}{6} \cdot \sum_{x=1}^6 P_x \quad (10)$$

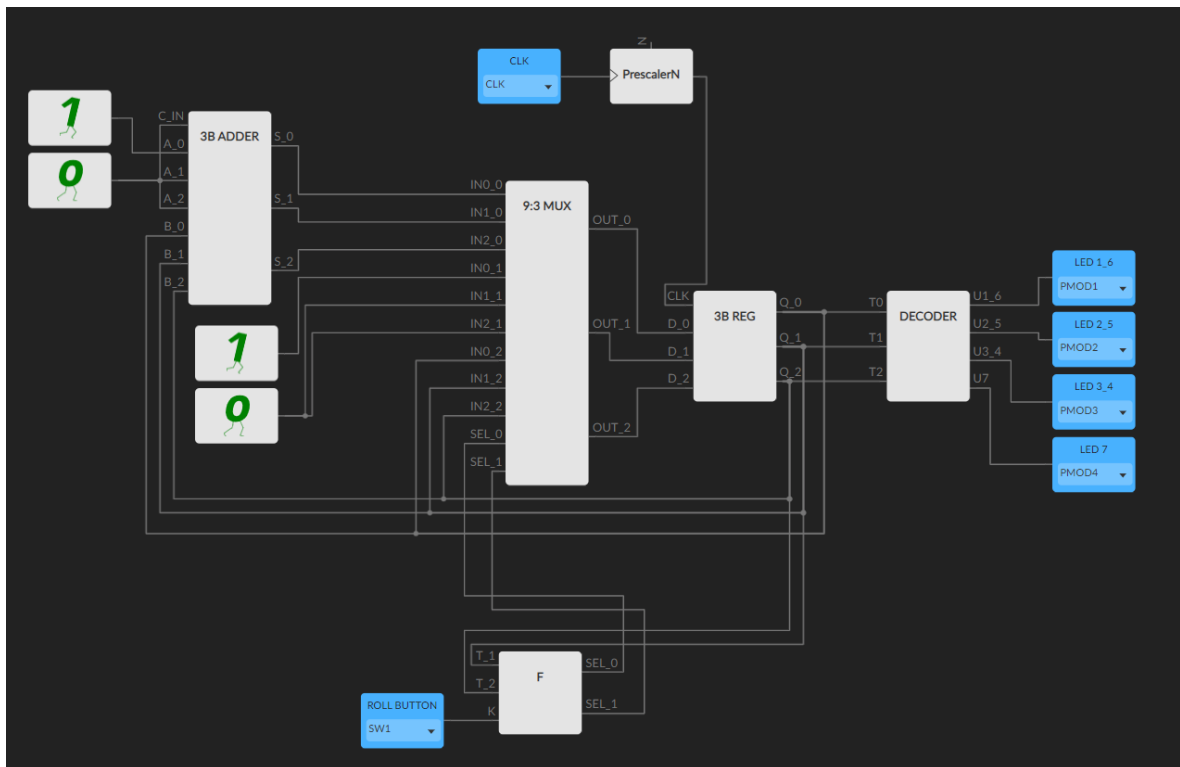
Forutsatt at hvert utfall er like sannsynlig.

### 3 Realisering og test

For å realisere tellerkretsen er en FPGA av typen Lattice ICE40 FPGA blitt brukt i lag med et utvalg av dioder og motstander.

#### 3.1 FPGA design

Teller og dekode kretsen er programmert og lastet opp på Lattice ICE40 FPGA gjennom Icestudio som i Figur 3.

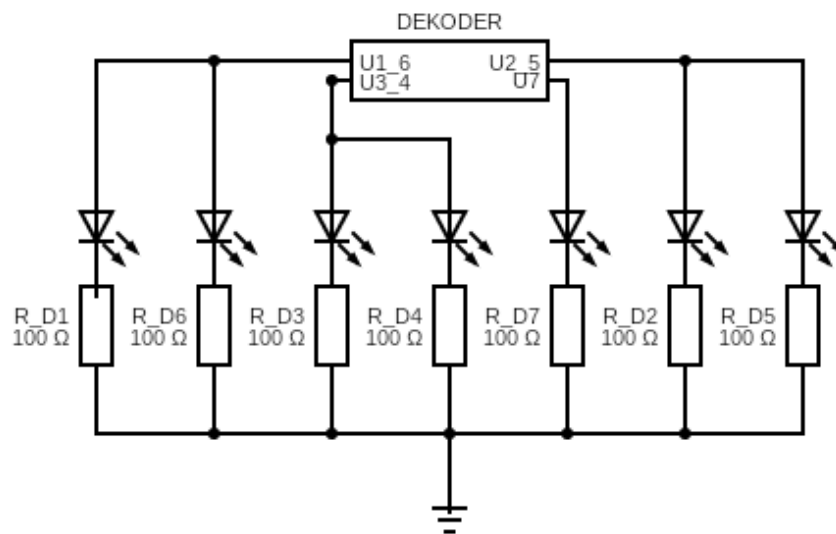


**Figur 3:** Design av krets på FPGAen

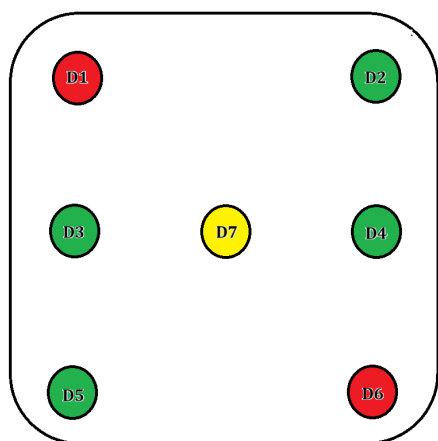
Kretsen bruker den interne klokken til FPGAen satt til ca. 23.8Hz og en innebygd pulldown-bryter for å simulere ”kast” av terningen. Ved 23.8Hz er det fremdeles mulig å se at terningen ”triller” gjennom tallene 1 til 6, men raskt nok til at det gir tilnærmet tilfeldige ”kast”.

#### 3.2 Oppkobling og måling

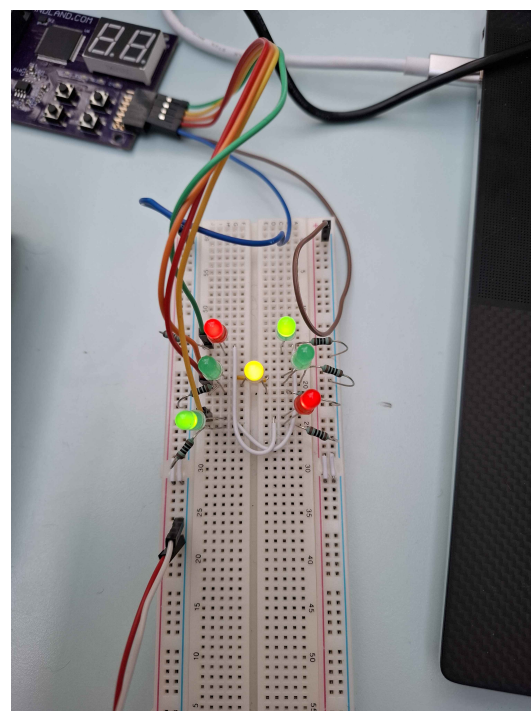
Videre kobles utgangene fra dekodeeren til tilhørende lysdioder som vist i Figur 4 og Figur 5.



Figur 4: Kretsskjema



(a) Terning oppsett.



(b) Krets koblet opp.

Figur 5: Oppkobling av elektronisk terning.

Fra kretsen måles spenningen over hver motstand ( $V_{R_D}$ ), spenningen over systemet av motstand og diode ( $V_{DD}$ ) og motstanden til hver motstand ( $R_D$ ). For å finne effekten mens kna-

ppen holdes nede måles også den gjennomsnittlige spenningen over hver motstanden mens knappen holdes nede ( $\overline{V_{R_D}}$ ), og den gjennomsnittlige spenningen over systemet ( $\overline{V_{D_D}}$ ). Målingene er samlet i Tabell 4.

**Tabell 4:** Måledata

Diode	Farge	$V_{R_D}[V]$	$V_{D_D}[V]$	$R_D[\Omega]$	$\overline{V_{R_D}}[V]$	$\overline{V_{D_D}}[V]$
$D_1$	Rød	0.844	2.92	100.0	0.415	2.30
$D_2$	Grønn	0.865	2.92	99.7	0.715	1.45
$D_3$	Grønn	0.861	2.91	100.2	0.144	0.59
$D_4$	Grønn	0.855	2.91	100.0	0.133	0.59
$D_5$	Grønn	0.825	2.91	99.9	0.691	1.45
$D_6$	Rød	0.850	2.92	99.9	0.415	2.30
$D_7$	Gul	1.054	3.06	99.7	0.515	1.52

### 3.3 Effektforbruk

Fra Ligning 8, Ligning 9 og Tabell 4 kan vi regne ut effektforbruket til hver enkel diode ( $P_D$ ) og effektforbruket for hver kombinasjon av tallene 1-6 ( $P_x$ ). For å finne effektforbruket mens knappen holdes nede ( $P_{HOLD}$ ) brukes de samme formlene, men summerer effekten for alle diodene. Beregningene er samlet i Tabell 5.

**Tabell 5:** Effektforbruk

Diode	$P_D[mW]$	$P_x[mW]$
$D_1$	24.64	$P_1 = 32.35$
$D_2$	25.33	$P_2 = 49.40$
$D_3$	25.01	$P_3 = 81.75$
$D_4$	24.88	$P_4 = 98.77$
$D_5$	24.03	$P_5 = 131.12$
$D_6$	24.76	$P_6 = 148.78$
$D_7$	32.35	$P_{HOLD} = 49.01$

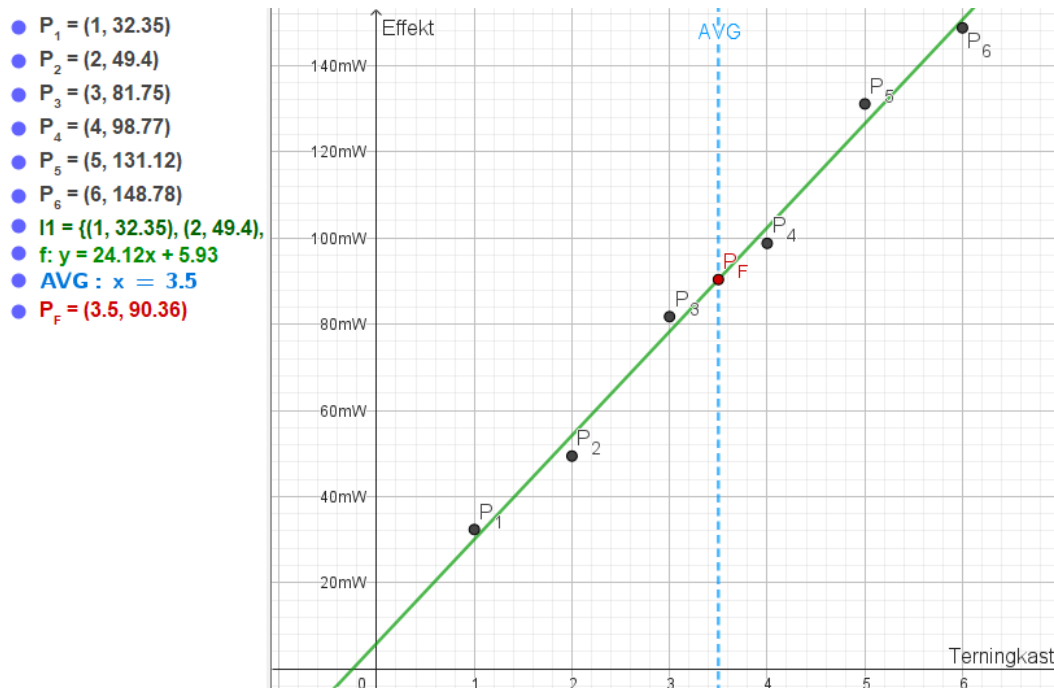
Det forventede effektforbruket til terningen kan vi så finne ved bruk av Ligning 10 og verdiene fra Tabell 5.

$$P_F = \frac{1}{6} \cdot \sum_{x=1}^6 P_x = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6}{6} = 90.36mW \quad (11)$$

### 3.4 Drøfting

Fra målingene og beregningene i Tabell 4 og Tabell 5 ser vi at med  $100\Omega$  motstander og grønne og røde lysdioder gir svært lik effektforbruk, mens gule lysdioder har litt høyere. Dette gjør at vi får en tilnærmet lineær sammenheng mellom effektforbruket for hvert tall som i Figur 6.





**Figur 6:** Plot av effektforbruk

Fra plottingen av målingene ser vi at effektforbruket når den gule dioden er på ( $P_1, P_3$  &  $P_5$ ) blir liggende litt over grafen. Når den gule dioden ikke lyser ligger alle målingene under grafen, hvor spesielt når kun de røde diodene lyser gir minst effektforbruk. Funksjonen stemmer også godt overens med det forventede effektforbruket til terningen, hvor et terningkast har i gjennomsnitt 3.5 øyne som gir ut samme forventede effektforbruk på 90.36 mW.

Effektforbruket når knappen holdes inne,  $P_{HOLD}$ , kan vi se fra Tabell 5 er lavere enn når en triller 2 eller høyere, på kun 49.01 mW. Dette vil variere med frekvensen på klokken og hvilken av diodene som er hvilken farge. Når knappen holdes inne vil det føre til at diodene får en ulik form for PWM signal på grunn av at telleren og dekoderen skrur av og på diodene ulikt. Vi kan se fra Tabell 4 at de to røde diodene er på oftere enn de to grønne diodene i midten fordi de har høyere  $\overline{V_{DD}}$ , men og at alle diodene får mindre spenning over seg.

## 4 Konklusjon

Har designet en fungerende elektronisk terning ved bruk av en FPGA og tre forskjellige fargede dioder. Effektforbruket til systemet er undersøkt med hensyn til hvert mulig utfall og mens knappen holdes nede, som er samlet i Tabell 5. Effektforbruket vil variere utifra hvilken kombinasjon av farger på lysdiodene som blir brukt, hvor røde lysdioder er mest effektive i dette systemet. Systemets forventede effektforbruk er beregnet til 90.36mW forutsatt at hvert utfall er like sannsynlig.

## 5 Takk

Vil gi takk til Andreas Heyerdahl, Ask Scott Darup, Helga Therese Tomaszewski Vrenne og Håkon Karveit Mikalsen for hjelp med designe systemet/programmet til FPGAen i Icestudio, og for godt samarbeid og diskusjon med tolkning av hvordan og hva designnotatet skulle utforske.

## Referanser

- [1] “ERT-økt 22: Elektronisk terning”, Kursmateriell til emne TTT4203 Innføring i analog og digital elektronikk, NTNU, 2024.