บทที่ ๕

การสร้างและทดลองส่วนความจำแบบ CMOS

การสร้าง กระทำหลังจากการออกแบบ โดยใช้แผ่นปรินท์บอร์ด โมดูลสำเร็จของบริษัท DOUGLAS-ELECTRONIC INC. 32-DE-8. ซึ่งสามารถต่อกับ Connector เพื่อ interface กับสัญญาน OMIBUS และใช้กับเครื่อง PDP-8/E เนื่องจากโมดูลอยู่ในขั้นทดลอง และขนาดแผ่นโมดูลจำกัด ไม่สามารถจะสร้างประกอบส่วนความจำขนาด 12/4096 bit-words ตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงสร้างประกอบเพียง 12/1024 bit-words โดยที่สัญญานควบคุมส่วนความจำนี้คงเหมือนเดิม เพียงแต่ตัดเอาส่วนความจำ และสัญญานควบคุมออกบางส่วน และในการออกแบบ ตามวงจรรูปใหญ่ ได้ออกแบบเพื่อขยายส่วนความจำได้เต็มที่ถึง 32K words จึงไม่มีปัญหา ถ้าหากผลการทดลองโมดูลที่สร้างขึ้นได้ผล

การสร้าง

ใช้อุปกรณ์ตาม part List รูปที่ ๓๘ และวางผังแบบตามรูปที่ ๓๙ การต่อสายระหว่างอุปกรณ์ทั้งหมดใช้ wire wrap เนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ง่ายขณะทดสอบวงจร

การทดลอง

ก. ทดลองการทำงานอิสระ

๑. การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟสำรอง และวงจร Power fail

ก) เครื่องมือที่ใช้

๑) Oscilloscope TEKTRONIX 475

๒) Multimeter DEITHLEY 160 B DIGITAL MULTIMETER

๓) LINEAR IC TESTTER 1234 Electro Scientific Industries

ข) ผลการทดลอง แสดงดังผลการทดลองที่ ๑-๔ โดยเลือกผลการทดลองที่ ๒ นำไปใช้งาน เมื่อพิจารณาถึงกระแสการชาร์จ (I CH) แล้วจะเห็นว่าผลการทดลองทั้งหมด กระแสการชาร์จประจุแก่ Ni-Cd นั้น ใกล้เคียงกันหมด คือ ประมาณ ๒๔ ถึง ๒๕ mA แต่กระแสการดิสชาร์จเมื่อปิดเครื่อง ต่างกัน จะเห็นว่าผลการทดลองที่ ๒ นี้ กระแสการดิสชาร์จมีค่า 56.2 μA เพื่อไปเลี้ยงแก่ T4 ผ่าน R35 ดังนั้นกระแสนี้เป็นกระแสที่น้อย และเหมาะสมที่ทำให้ T4 ทำงานได้ เพื่อส่งสัญญาน POWER FAIL L ไปยังวงจร Interface Control Logic

การเก็บรักษาข้อมูล ในส่วนความจำแบบ CMOS นี้ กระแสที่จะจ่ายให้แก่ส่วนความจำส่วนนี้วิเคราะห์ได้ดังนี้

เมื่อขนาดส่วนความจำ 12/4096 bit-words ที่อุณหภูมิ 25°C ตาม Specification ของ CMOS IM 6508 IJE ภาคผนวก ข. กระแสจ่ายไปเลี้ยง CMOS แต่ละตัวใช้ 10 μA เมื่อใช้ ๔๘ ตัว จะใช้กระแสทั้งหมด

48/10 μA = 480 μA

ขณะเดียวกัน Ni-Cd ต้องจ่ายไฟไปเลี้ยงวงจร Power Fail ดังวิเคราะห์มาจากข้างบนแล้ว คือประมาณ 56.2 μA

ดังนั้น จะต้องจ่ายกระแสทั้งหมด

= 480 μA+ 56.2 μA

= 536.2 μA

แต่ถ้าหากว่า Ni-Cd นี้สามารถจะชาร์จกระแสได้เต็มที่ 500 mAH และได้ Voltage 3.8 Volts ตามกำหนด

ดังนั้น แหล่งจ่ายไฟนี้สามารถจะเก็บรักษาข้อมูลเอาไว้ได้เป็นเวลา

$$= \frac{500,000}{536.2}$$

= 932.48787 Hours

= 38.853661 วัน

และจากการทดลองสร้างขนาดส่วนความจำ 12/1024 bit-words นี้ แหล่งจ่ายไฟ สามารถเก็บรักษาข้อมูลเอาไว้ได้ 118.23685 วัน หรือประมาณ ๓ เดือน

๒. การทดลองวงจร Field Select

ก. เครื่องมือที่ใช้

๑) Oscilloscope TEKTRONIX 475

๒) Multimeter KEITHLEY 160 B DIGITAL MULTLMETER

๓) IC Tester IC FUNCTIONAL TESTER 1248 Electro Scientific Industries

๔) Logic Board Elite 2 Circuit Design Test System

ข. ผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ผลตามตารางที่ ๓ ทุกประการ

๓. การทดลองวงจร Interface Control Logic

ก) เครื่องมือที่ใช้ เหมือนการทดลองวงจร Field Select

ข) ผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ผลตามตารางที่ ๒ ทุกประการ

๔. การทดลองหน่วยความจำแบบ CMOS

ก) เครื่องมือที่ใช้ เหมือนการทดลองวงจร Field Select

ข) ผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 25°C ทำการทดลองได้เฉพาะวัดระดับสัญญานอยู่ในย่านเดียวกับคุณสมบัติ DC ของ CMOS IM 6508 IJE แต่ คุณสมบัติ AC ไม่สามารถจะวัดจากการทดลองอิสระนี้ได้

ข. การทดลองกับเครื่องคอมพิวเตอร์ PDP-8/E

๑. เครื่องมือที่ใช้

ก) เครื่องคอมพิวเตอร์ PDP-8/E

ข) Logic Analyzer LA 501 TEKTRONIX TM 515

ค) Oscilloscope (1) TEKTRONIX 475

(2) TEKTRONIX 214 Storage Oscilloscope

๒. วิธีการทดลอง เสียบแผ่นโมดูลที่ออกแบบ เข้ากับ Connector ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อเปิดสวิทช์เครื่องคอมพิวเตอร์ แผ่นโมดูลจะได้รับสัญญานที่ต้องการ จากโอมนิบัส และอีกส่วนหนึ่งได้จากแผ่นโมดูล วงจรสร้างสัญญานเวลา

ก) การทดลองจาก ฟร้อนฟาแนล

๑) โหลด สวิทช์รีจีสเตอร์ ๖ ถึง ๘ ด้วย คีย์ EXT. ADDR โดย Set ส่วนความจำไว้ฟิลด์ ๖

๒) โหลด Address 0000 จากสวิทช์รีจีสเตอร์ด้วย คีย์ ADDR LOAD.

๓) โหลดข้อมูลของคำสั่ง TAD (1050) ที่สวิทช์รีจีสเตอร์ เข้าไปเก็บในส่วนความจำ CMOS ด้วย คีย์ DEP

๔) ทำการอ่านข้อมูลจาก Address 0000 ออกมาที่ MB รีจีสเตอร์ ด้วย คีย์ EXAM.

ข) การทดลอง RUN ด้วยโปรแกรม

จากการทดลองข้อ ก. ปรากฏว่า การนำข้อมูลเข้าเก็บในส่วนความจำได้ผล ดังนั้น จึงทำการเอาโปรแกรมเข้าเก็บในส่วนความจำด้วยภาษาเครื่อง ฟร้อนพาแนล ด้วยโปรแกรมตรวจสอบการทำงาน เป็นโปรแกรม test Light Pattern ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Operating System ของเครื่อง PDP8/E โดยตรวจสอบไฟที่ Accumulator display ผลการทดลองเครื่องสามารถทำงานได้ถูกต้อง

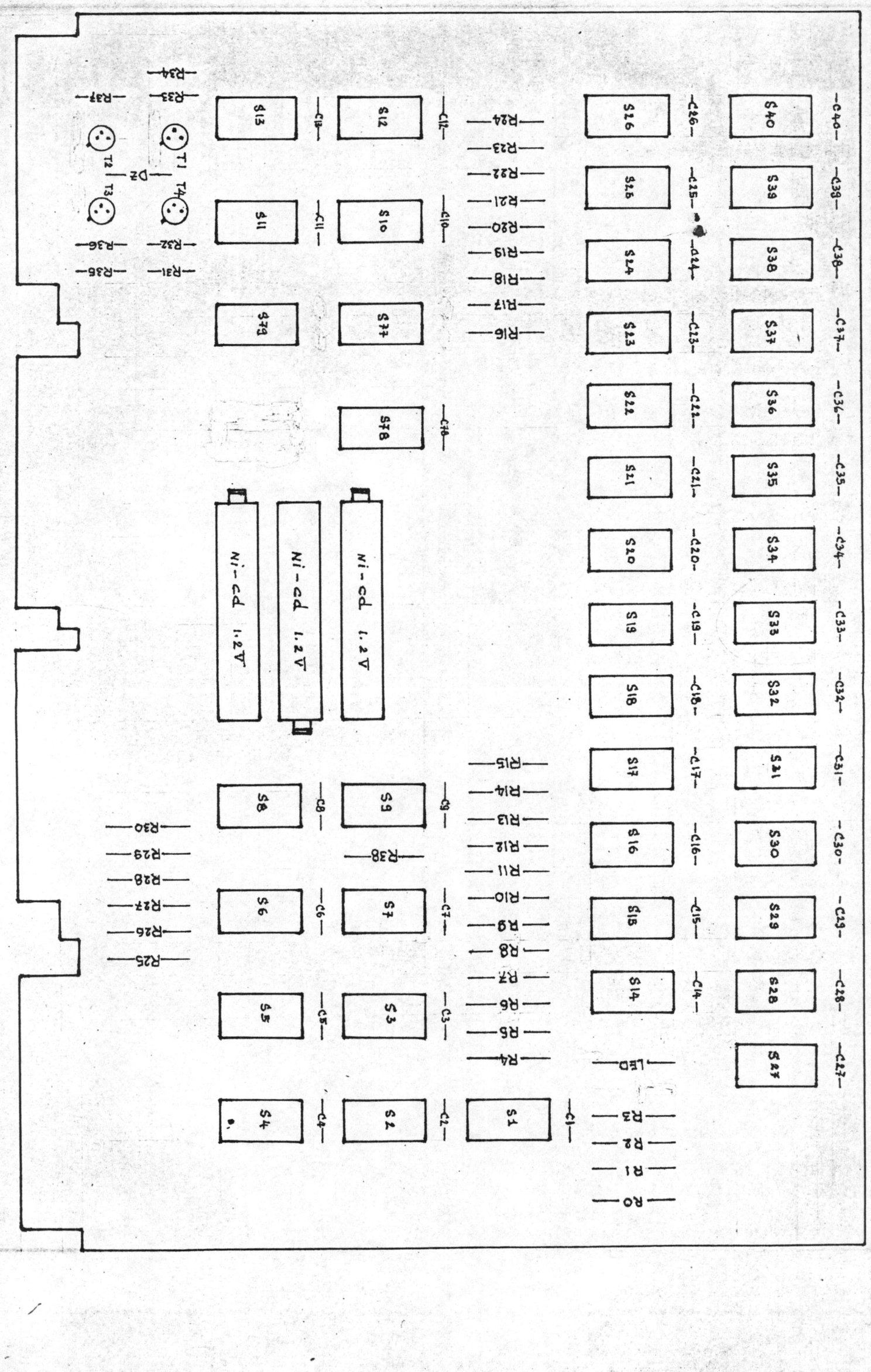
ส่วนความจำนี้ไม่สามารถจะ test ด้วย Diagnostic PDP-8/E Exteneded Memory Address test และ PDP-8/E Extended Memory Data & Checker board test ได้ เนื่องจากส่วนความจำมีขนาดเพียง 12/1024 bits-words เท่านั้น ถ้าจะ Test ด้วย Diagnostic นี้ จะต้องสร้างส่วนความจำขนาด 4K word ดู Abstract ในภาคผนวก จ.

โปรแกรมที่ตรวจสอบการทำงาน

```
/ACCUMULATOR LIGHT DEMONSTRATION
/OS/8 GETTING ON THE AIR PP 3-5
/THIS PROGRAM WILL DISPLAY
/A LIGHT PATTERN WILL FLASH ACROSS YOUR
/ASSEMBLY PROGRAM LANGUAGE
* LOAD ADDRESS Ø2ØØ
  LLOOP,  TAD   LOC
  LOOP,   ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          ISZ   LOC
          JMP   LOOP
          CML   CMA  RAR
          DCA   LOC
          ISZ   TEMP
          JMP   LLOOP
          JMP   I. + 1
          76Ø5
LOC,      2525
TEMP,     5ØØØ
$$$
```

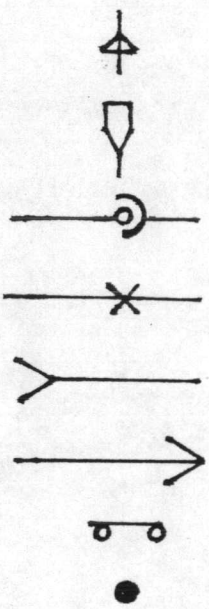
PART LIST		
QTY.	REF DESIGNATION	DESCRIPTION
3	R0, R1, R2	RES. 330Ω 1/8 W 5%
19	R3, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R38	RES. 470Ω 1/8 W 5%
8	R4, R5, R6, R25, R26, R27, R28, R29	RES. 10KΩ 1/8W 5%
1	R7	RES. 680Ω 1/8W 5%
3	R30, R33, R34	RES. 220Ω 1/8 W 5%
1	R31	RES. 39Ω 1/8 W 5%
1	R32	RES. 1K Ω 1/8 W 5%
1	R35	RES. 56KΩ 1/8 W 5%
1	R36	RES. 47Ω 2 W 10%
1	R37	RES. 47Ω 1/4 W 5%
77	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23 C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, ⟶ C77	CAPACITOR 0.01μF 25V
1	T1	TR. 2N3638
1	T2	TR. JAN.2N2222
1	T3	TR. JAN.2N2222
1	S1	IC DEC 384
1	S2	IC DEC 7486
2	S3, S10	IC DEC 7440, -74H40
9	S4, S15, S17, S19, S21, S23, S25 S27, S28	IC SN 74LS04
1	S5	IC SN 7475
1	S6	IC DEC8251
1	S7	IC SN 74LS74
1	S8	IC SN 74LS20
2	S9, S14	IC SN7408
1	S12	IC SN7400
1	S11	IC SN74194
1	S13	IC SN7401
3	S16, S20, S24	IC SN74125
3	S18, S22, S26	IC DEC8881
48	S29, S30, ⟶ S76	IC IM6508 IJE
1	DZ (ZENER)	DIODE IN748
3	Ni – Cd	BATTERY 1.2 V
1	S78	IC SN7417

รูปที่ ๓๘ แสดง PART LIST ของส่วนความจำแบบ CMOS



รูปที่ ๓๙ แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ในวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ

หมายเหตุ



Tristate device

Power Supply

Connector point

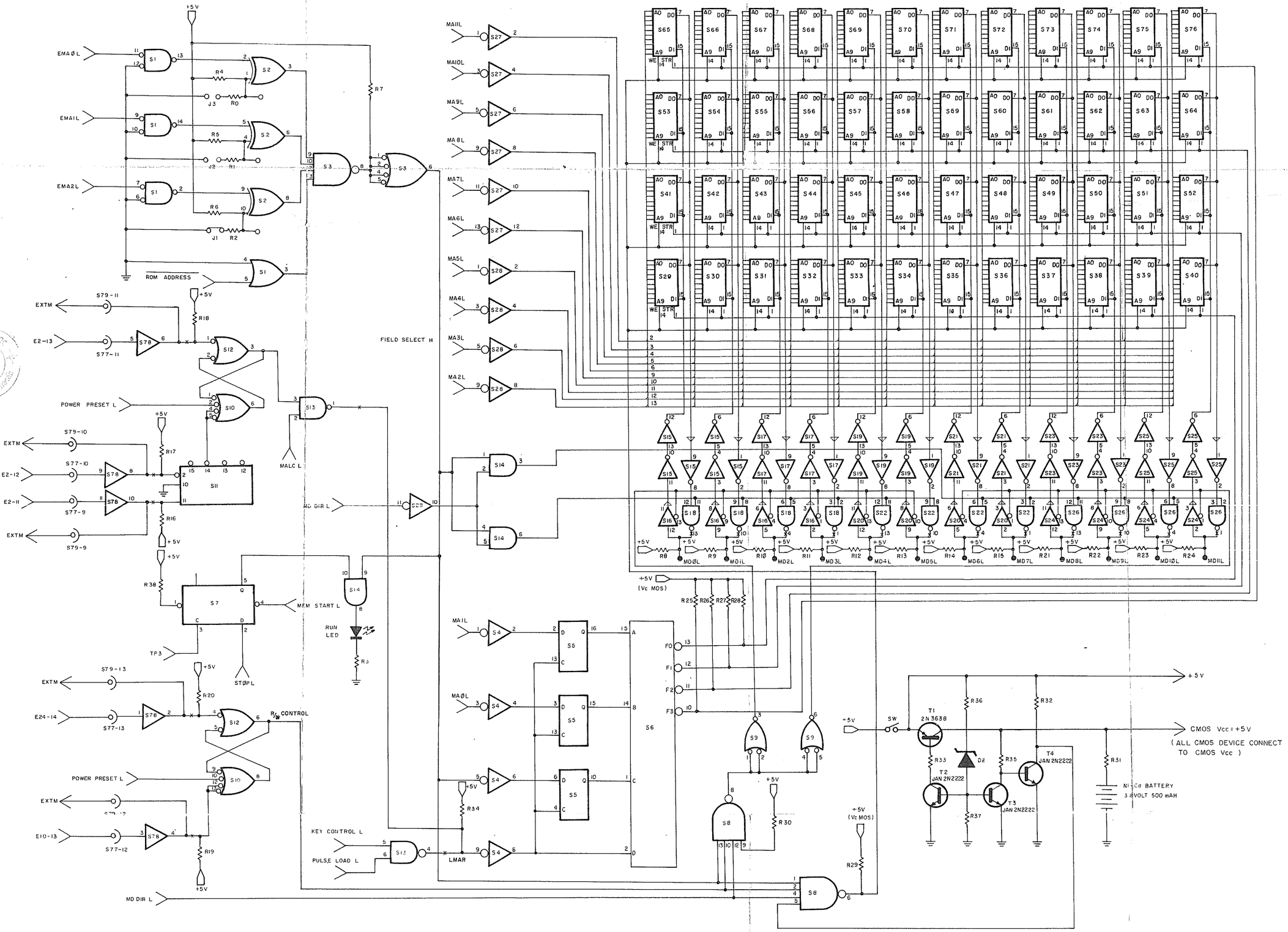
Open Collector

From

To

Jumper

Bidirectional Bus



TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	DRN	DATE	OFFICE OF THE ATOMIC ENERGY FOR PEACE *ELECTRONIC INSTRUMENTATION DIVISION* BANGKHEN BANGKOK THAILAND
RESISTORS ± 10%	CHK	DATE	
CAPACITORS ± 20%	APP	DATE	
FRACTIONS ±	CLASSIFICATION		TITLE **PDP-8/E 4K-WORDS CMOS MEMORY MODULE**
DECIMALS ±	MAT'L	MODEL OR PART NO.	
ANGLES ±	FINISH	CODE NO.	SCALE NOT TO SCALE — DWG NO.
MACHINED SURFACE √	THIS DESIGN AND PRINT MUST NOT BE USED OR REPRODUCED IN WHOLE OR IN PART WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF THE OFFICE OF THE ATOMIC ENERGY FOR PEACE		ISSUE NO 1 — SHT NO. 1

เมื่อกำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

R36 = 4.7 Ω

R35 = 15 kΩ

R32 = 1 kΩ

R31 = 71 Ω

Ni-Cd = 3.7 Volts

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Vec	Iz	Vz	Vblas T_2, T_3	Vcmos	VpF	Vbias T_4	Idis	IcH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volt	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.73	4.93	4.99	0.01	-	24.8
4.8	16.0	3.82	0.7	4.76	4.81	0.01	-	19.9
4.6	13.0	3.75	0.62	4.56	4.61	0.02	-	14.8
4.4	11.0	3.69	0.53	4.27	.049	0.67	-	1.2
4.2	9.0	3.61	0.43	3.91	.047	0.67	-	1.0
4.0	7.0	3.53	0.35	3.89	.045	0.67	.22	-
3.8	5.5	3.44	0.27	3.88	.044	0.67	.22	-
3.4	2.1	3.06	0.1	3.87	.040	0.66	.22	-
3.0	1.0	2.84	0.05	3.87	.037	0.66	.22	-
2.5	.3	2.46	0.02	3.86	.032	0.66	.22	-
2.0	.004	1.95	0.0	3.86	.028	0.65	.22	-

ตารางที่ ๔. การทดลองที่ ๑ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟมีแบตเตอรี่ Ni-cd 3.7 Volts กระแส 500 mAH ต่ออยู่

เมื่อกำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

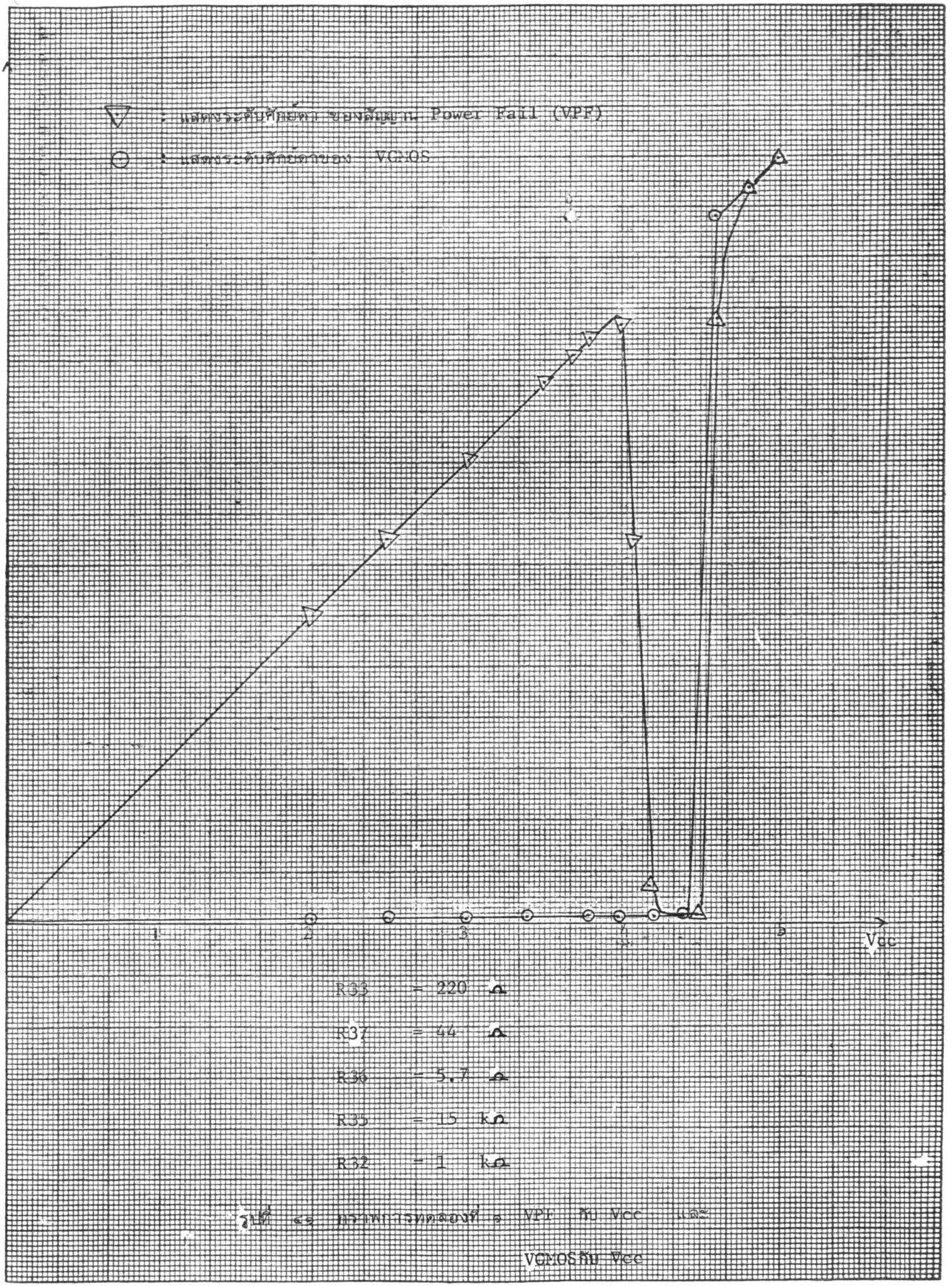
R36 = 4.7 Ω

R35 = 15 kΩ

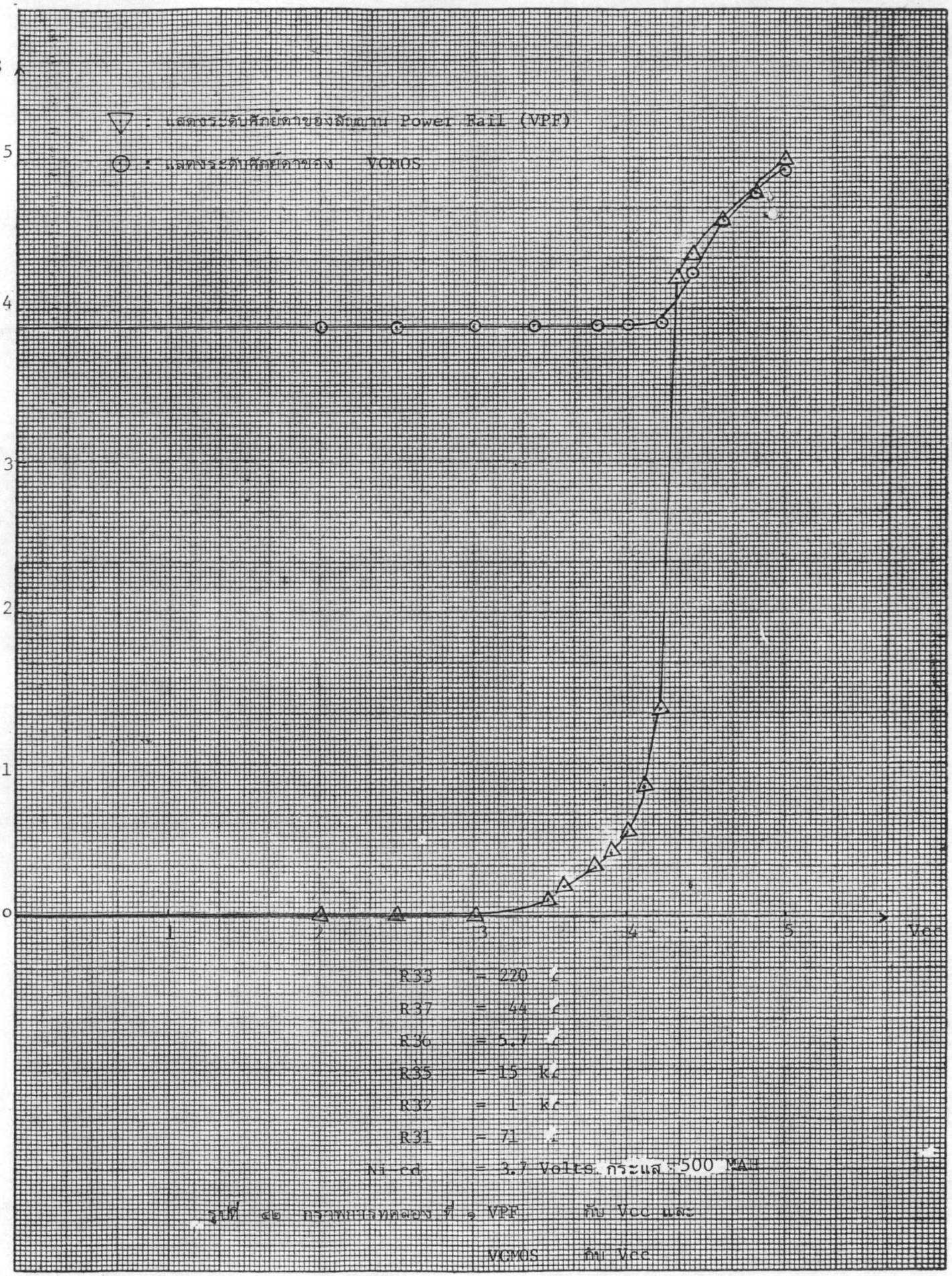
R32 = 1 kΩ

Vcc	Iz	Vz	Vbias T_2, T_3	Vcmos	Vbias	VpF	I dis	I ch
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.72	5.0	0.01	5.0	-	-
4.9	18.0	3.86	0.70	4.9	0.01	4.9	-	-
4.8	16.0	3.82	0.66	4.8	0.01	4.78	-	-
4.6	13.5	3.76	0.59	4.6	0.63	3.93	-	-
4.3	10	3.66	0.44	4.19	0.67	0.05	-	-
4.2	9.0	3.61	0.39	1.35	0.65	0.25	-	-
4.0	7.0	3.53	0.32	.55	0.52	3.89	-	-
3.6	4.0	3.32	0.19	.26	0.09	3.6	-	-
3.0	1.0	2.91	0.05	0.01	0.01	3.0	-	-
2.5	.2	2.46	0.02	0.01	0.01	2.5	-	-
2.0	0.04	1.94	0.0	0.01	0.01	2.0	-	-

ตารางที่ ๕ การทดลองที่ ๑ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟไม่มีแบต เตอรี่ Ni-Cd ต่ออยู่



รูปที่ ๔๑ กราฟการทดลองที่ ๑ VPF กับ Vcc และ VCMOSกับ Vcc



รูปที่ ๔๒ กราฟการทดลอง ที่ ๑ VPF กับ Vcc และ VCMOS กับ Vcc

กำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

R36 = 4.7 Ω

R35 = 56 kΩ

R32 = 1 kΩ

R31 = 39 Ω

Ni-Cd = 3.7 Volts

Vcc	Iz	Vz	Vbias T_2, T_3	Vcmos	Vbias T_4	VpF	I DIS	I CH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volt	Volt	μA	mA
5.0	20.0	3.91	0.74	4.93	0.01	4.99	-	25
4.8	16.0	3.83	0.7	4.76	0.01	4.8	-	19.7
4.6	13.5	3.76	0.62	4.55	0.01	4.61	-	14.7
4.4	12.88	3.72	0.6	4.32	0.01	4.36	-	12.7
4.3	11.26	3.68	0.54	4.10	0.06	4.27	-	10.1
4.2	8.5	3.61	0.43	4.04	0.66	.118	-	1.4
4.0	7.0	3.52	0.33	4.02	0.66	.110	56.2	-
3.8	5.25	3.44	0.27	4.02	0.65	.104	56.2	-
3.5	2.45	3.11	0.11	4.01	0.65	.095	56.2	-
3.0	1.0	2.82	0.05	4.01	0.65	.083	56.2	-
2.0	.04	1.96	0.0	3.99	0.65	.065	.062	-

ตารางที่ ๖ การทดลองที่ ๒ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟมีแบตเตอรี่ Ni-Cd 3.7 Volts กระแส 500 mA H ต่ออยู่

กำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

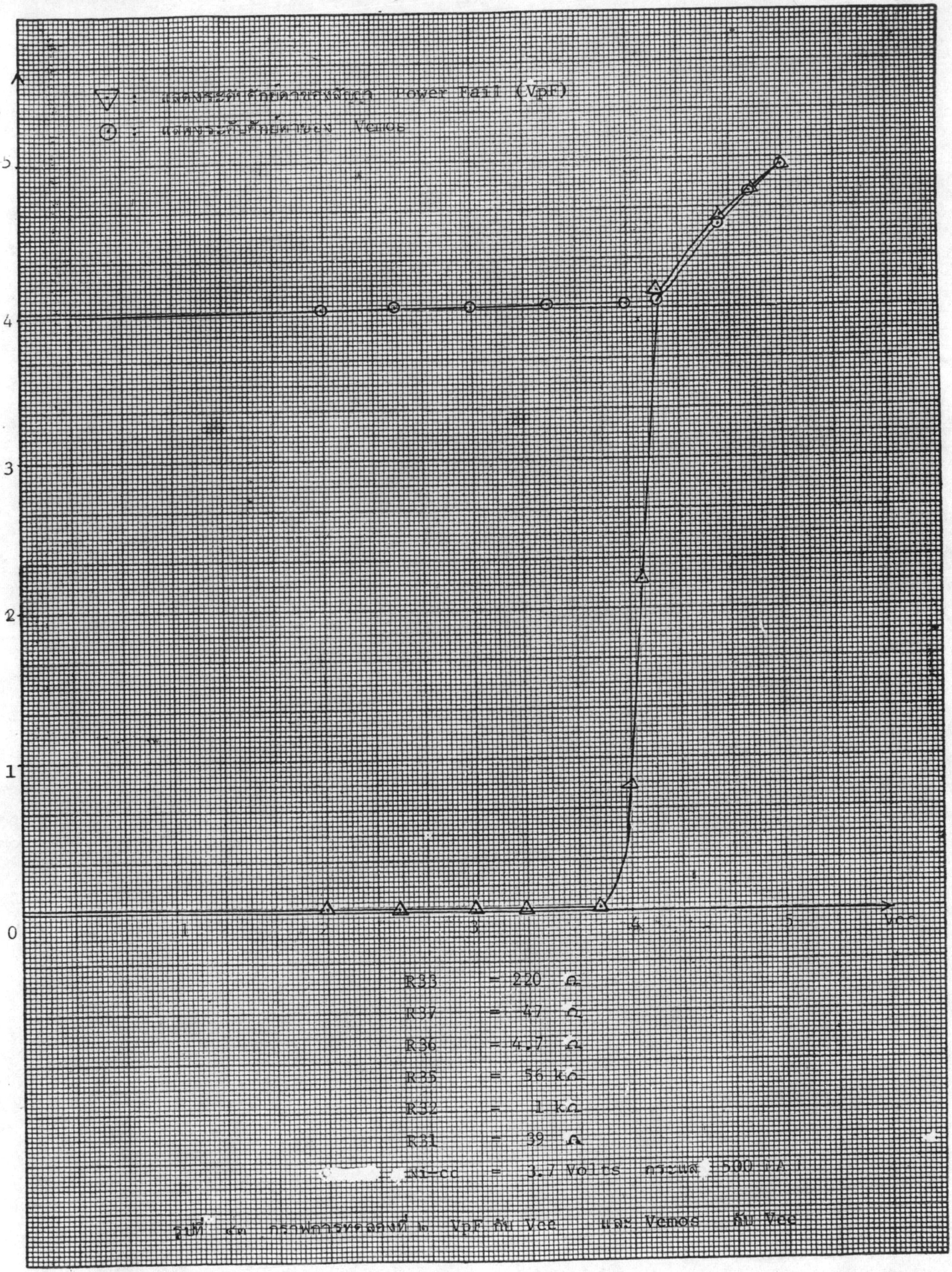
R36 = 4.7 Ω

R35 = 56 kΩ

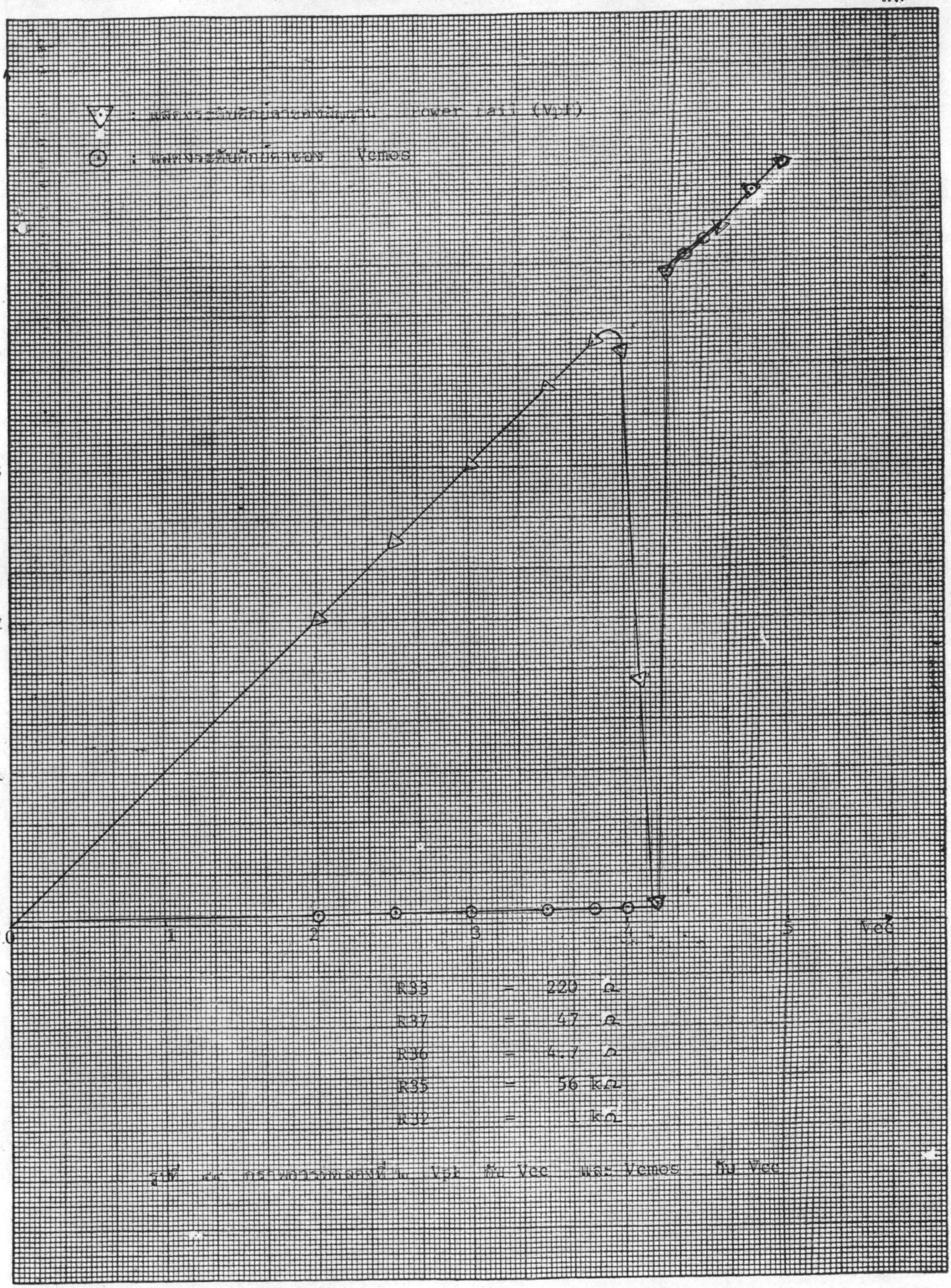
R32 = 1 kΩ

Vcc	I_Z	V_Z	V_{bias} T_2, T_3	Vcmos	V_{bias} T_4	VpF	I. DIS	I CH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.73	4.95	0.01	4.99	-	-
4.8	16.5	3.82	0.7	4.78	0.01	4.8	-	-
4.6	13.5	3.74	0.62	4.6	0.01	4.6	-	-
4.2	8.75	3.61	0.43	4.11	0.66	.115	-	-
4.1	8.0	3.58	0.39	2.19	0.64	1.86	-	-
4	7.0	3.52	0.35	0.82	0.58	3.74	-	-
3.8	6.6	3.24	0.17	0.02	0.04	3.8	-	-
3.5	2.5	3.11	0.11	0.01	0.01	3.52	-	-
3.0	1.3	2.89	0.06	0.01	0.01	3.12	-	-
2.5	.3	2.45	0.02	0.01	0.01	2.5	-	-
2.0	.04	2.0	0.01	0.01	0.01	2.0	-	-

ตารางที่ ๗ การทดลองที่ ๒ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟไม่มีแบตเตอรี่ Ni-Cd ต่ออยู่



รูปที่ ๔๓ กราฟผลการทดลองที่ ๒ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc



R33	=	220	Ω
R37	=	47	Ω
R36	=	4.7	Ω
R35	=	56	kΩ
R32	=	1	kΩ

รูปที่ ๔๘ กราฟความสัมพันธ์ของ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc

กำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

R36 = 4.7 Ω

R35 = 10 kΩ

R32 = 1 kΩ

R31 = 39 Ω

Ni-Cd = 3.7 Volts

Vcc	Iz	Vz	Vbias T_2, T_3	Vcmos	Vbias T_4	VpF	I DIS	I CH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.73	4.93	0.01	4.98	-	24.8
4.8	16.5	3.83	0.70	4.77	0.01	4.82	-	20.4
4.6	14.0	3.75	0.61	4.56	0.02	4.61	-	15.4
4.4	11.0	3.69	0.52	4.28	0.68	.039	-	10.4
4.2	9.0	3.61	0.43	3.91	0.68	.038	.6	-
4.0	7.0	3.53	0.35	3.89	0.68	.037	.314	-
3.8	5.0	3.42	0.27	3.88	0.67	.035	.31	-
3.4	2.2	3.06	0.10	3.87	0.67	.034	.31	-
3.0	1.0	2.84	0.50	3.86	0.67	.031	.31	-
2.5	.25	2.45	0.02	3.85	0.67	.027	.31	-
2.0	.035	1.95	0.0	3.85	0.67	.023	.31	-

ตารางที่ ๘ การทดลองที่ ๓ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟมีแบตเตอรี่ Ni-Cd 3.7 Volts กระแส 500 mA Hต่ออยู่

กำหนด R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

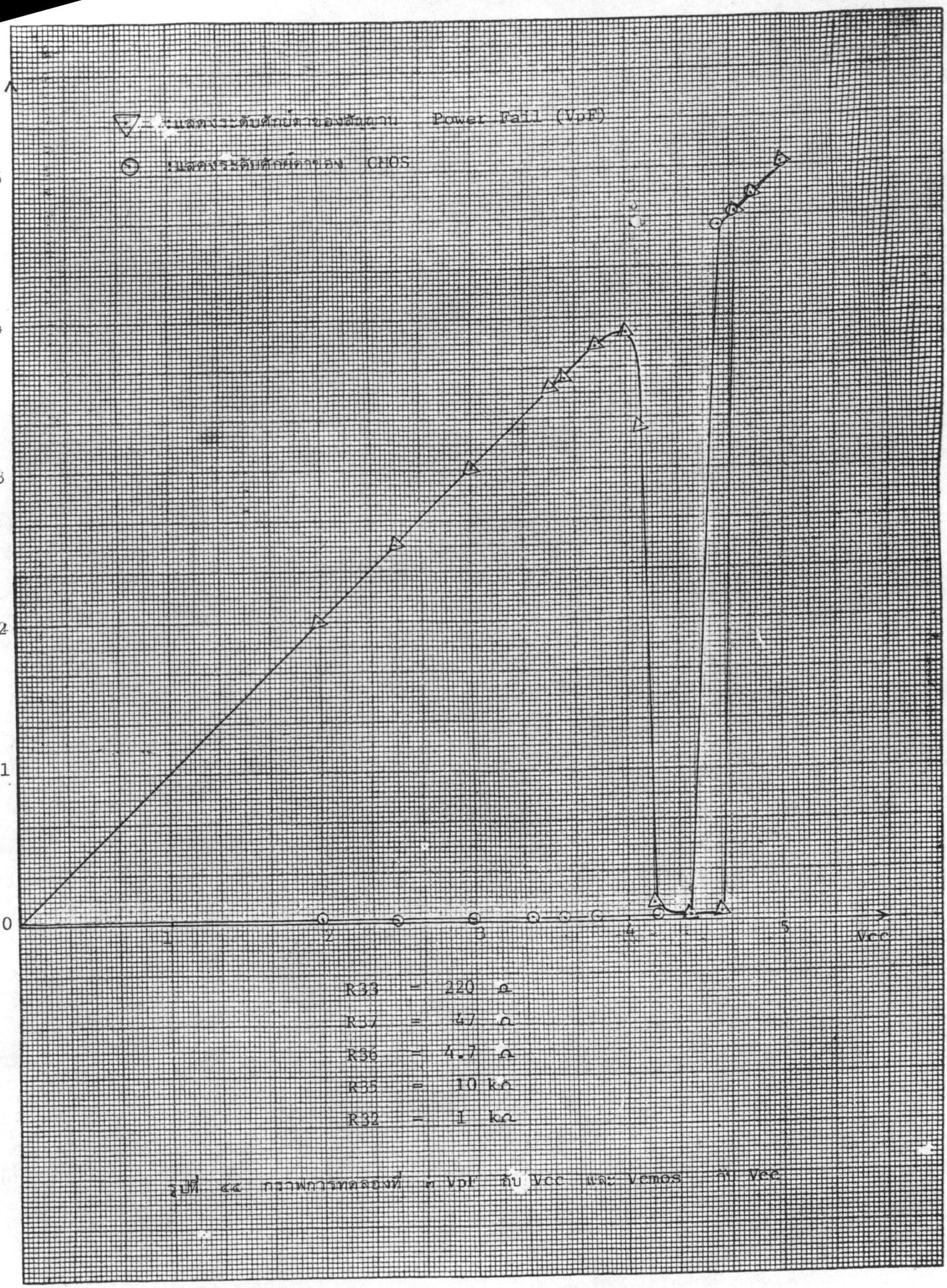
R36 = 4.7 Ω

R35 = 10 kΩ

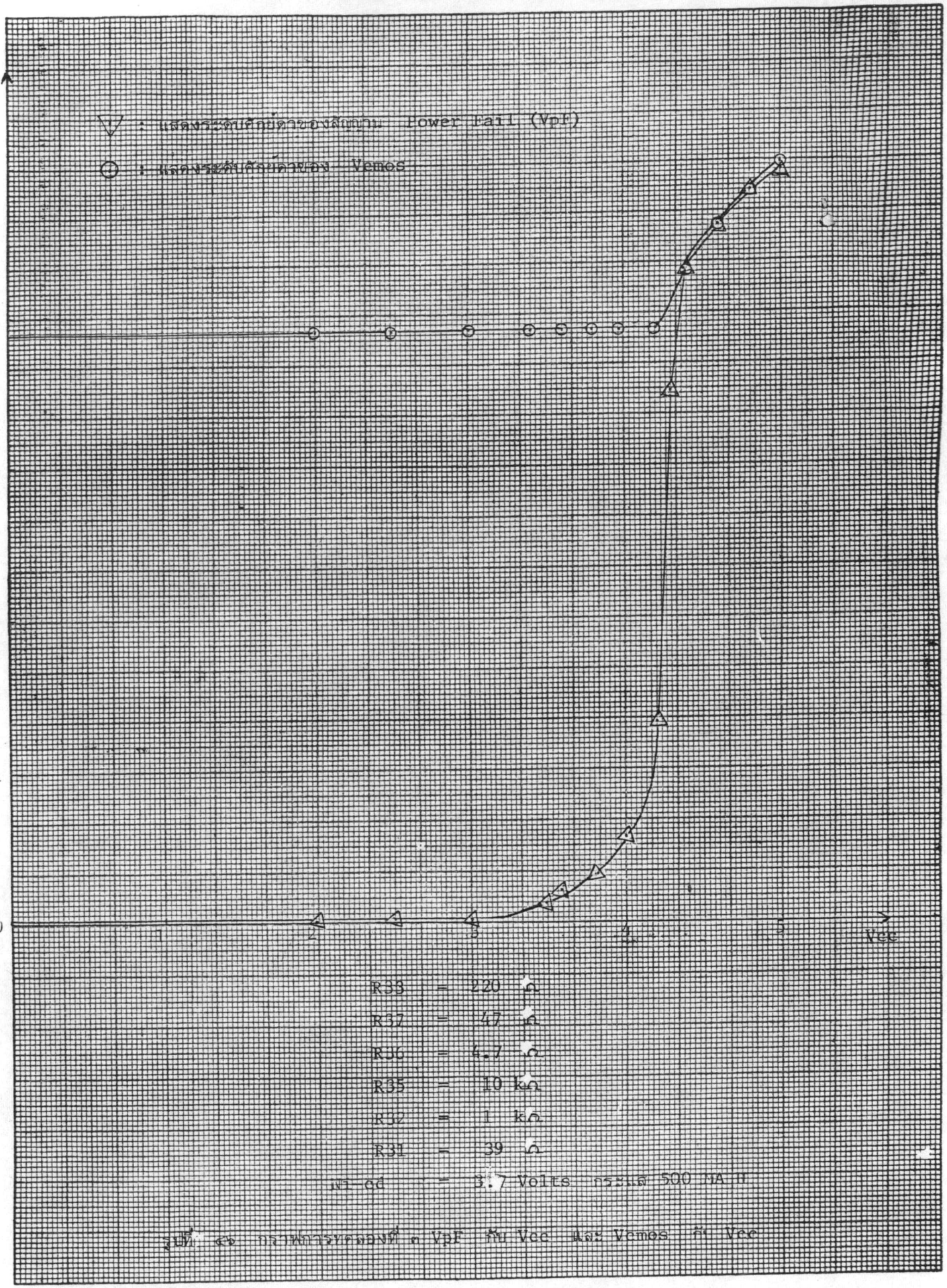
R32 = 1 kΩ

Vcc	Iz	Vz	Vbias T_2, T_3	Vcmos	Vbias T_4	VpF	I DIS	I CH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.72	5.0	0.01	5.0	-	-
4.8	16.0	3.82	0.66	4.8	0.01	4.8	-	-
4.6	13.0	3.76	0.58	4.6	0.67	0.04	-	-
4.4	11.0	3.69	0.48	4.35	0.68	0.04	-	-
4.3	10.0	3.65	0.44	3.45	0.68	0.05	-	-
4.1	8.0	3.58	0.36	.72	0.6	3.28	-	-
4.0	7.0	3.53	0.31	.55	0.53	3.89	-	-
3.6	4.0	3.33	0.19	.236	0.05	3.61	-	-
3.0	1.1	2.83	0.05	0.01	0.01	3.02	-	-
2.5	0.25	2.45	0.02	0.01	0.01	2.51	-	-
2.0	0.04	1.95	0.01	0.01	0.01	2.01	-	-

ตารางที่ ๙ การทดลองที่ ๓ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟไม่มีแบตเตอรี่ Ni-Cd ต่ออยู่



รูปที่ ๔๔ กราฟการทดลองที่ ๓ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc



รูปที่ ๔๖ กราฟการทดลองที่ ๓ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc

R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

R36 = 4.7 Ω

R35 = 5.6 KΩ

R32 = 1 KΩ

R31 = 39 Ω

Ni-Cd = 3.7 Volts

Vcc	I2	Vz	Vbias T2, T3	Vcmos	Vbias T4	VpF	I DIS	I ch
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20	3.89	0.72	5.0	0.01	5.0	-	24.0
4.8	15.5	3.80	0.68	4.77	0.01	4.8	-	19.7
4.6	12.5	3.73	0.60	4.54	0.66	.105	-	14.5
4.4	10.5	3.70	0.51	4.04	0.69	.029	-	11.9
4.2	8.5	3.6	0.42	3.83	0.69	.029	0.065	-
4.0	7.0	3.52	0.34	3.78	0.69	.028	0.38	-
3.8	5.0	3.42	0.26	3.78	0.69	.028	0.43	-
3.5	3.0	3.23	0.15	3.78	0.69	.026	0.45	-
3.0	1.25	2.98	0.08	3.7	0.68	.024	0.45	-
2.5	.18	2.3	0.01	3.7	0.68	.020	0.45	-
2.0	.04	1.96	0.0	3.7	0.68	.017	0.45	-

ตารางที่ ๑๐ การทดลองที่ ๔ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟมีแบตเตอรี่ Ni-cd 3.7 Volts กระแส 500 mAH ต่ออยู่

R33 = 220 Ω

R37 = 47 Ω

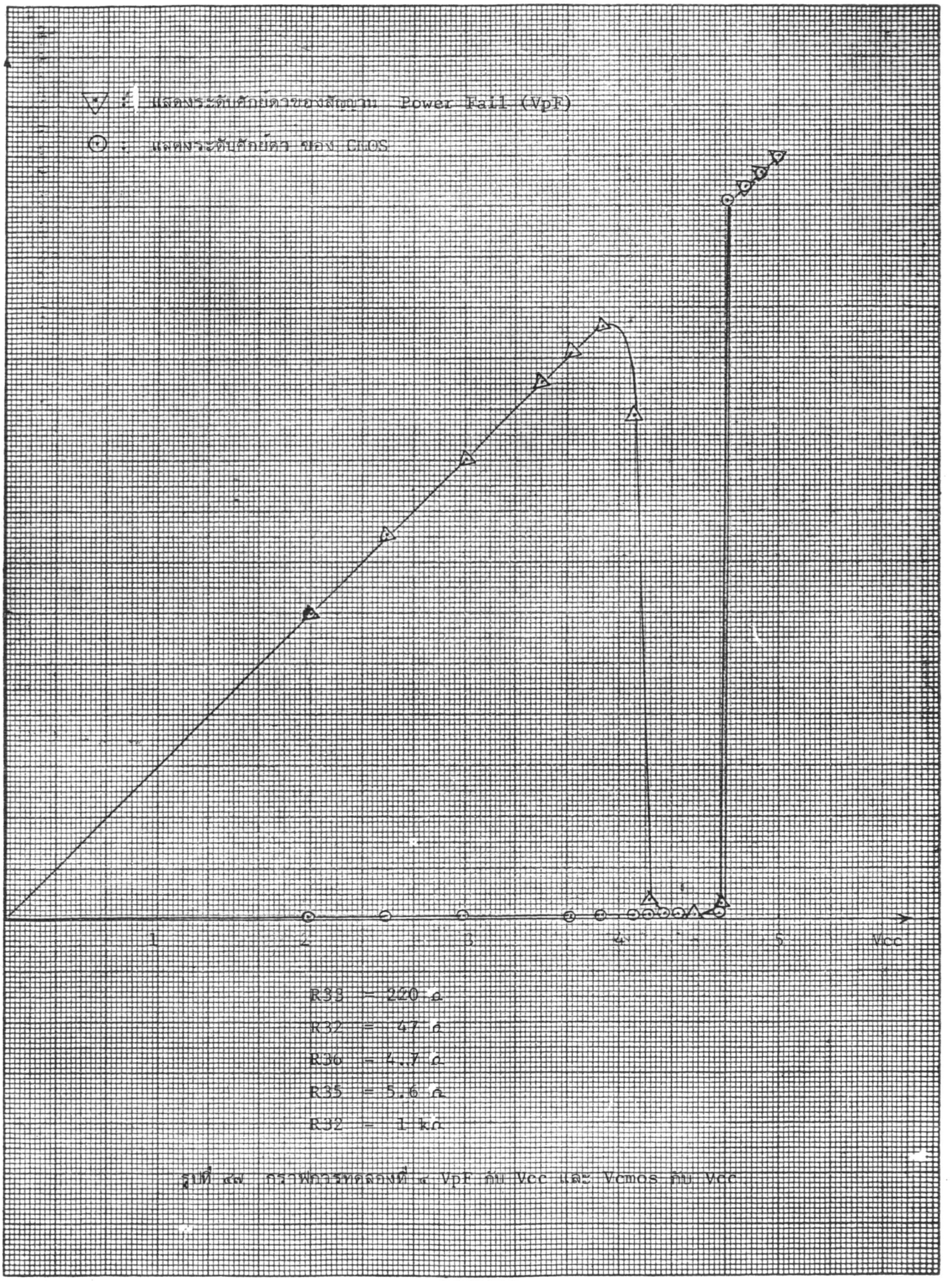
R36 = 4.7 Ω

R35 = 5.6 kΩ

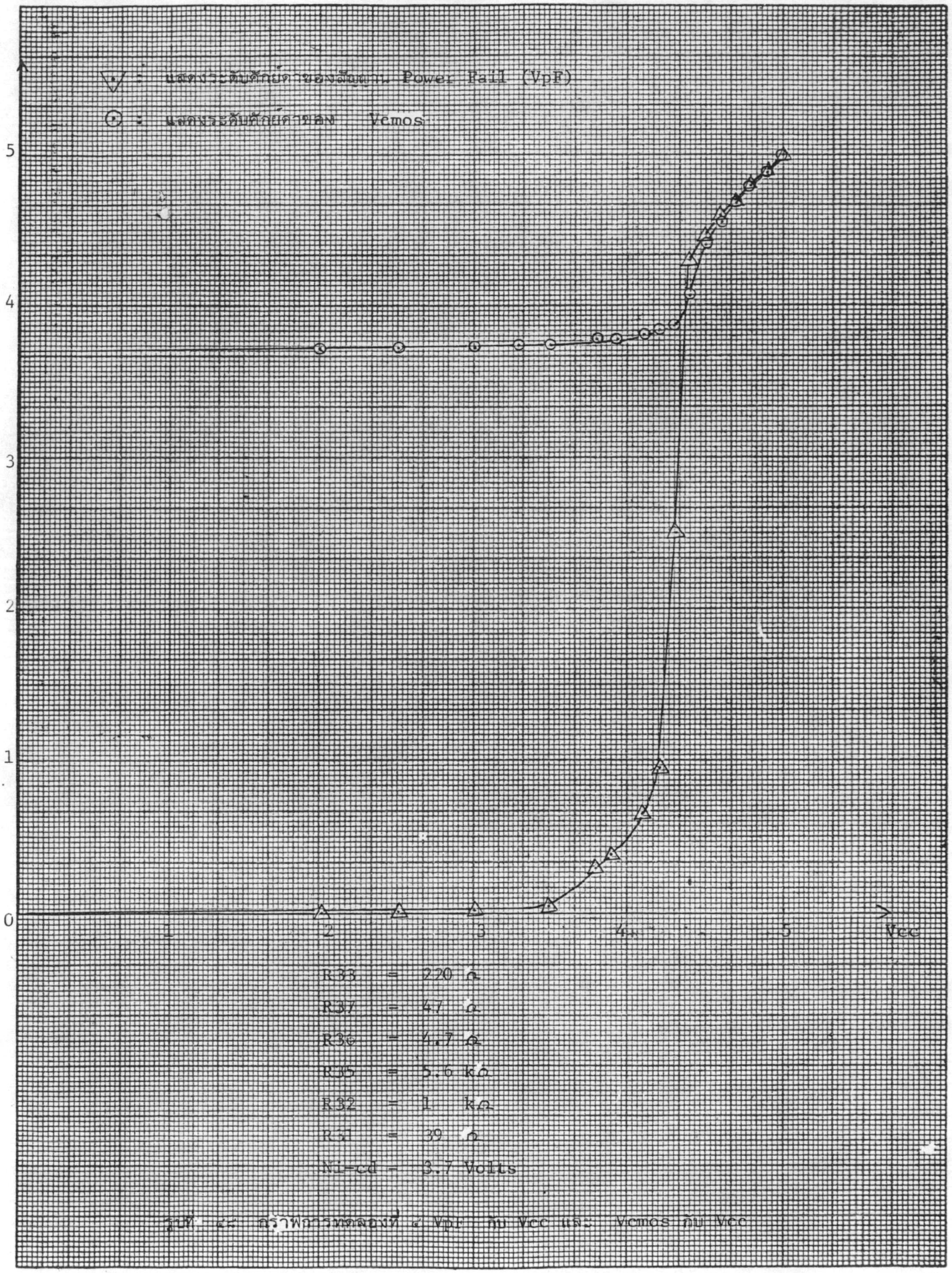
R32 = 1 kΩ

Vcc	Iz	Vz	V_{bias} T_2, T_3	Vcmos	V_{bias} T_4	VpF	I DIS	I CH
Volts	mA	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts	mA	mA
5.0	20.0	3.9	0.72	5.0	0.01	4.99	-	-
4.8	16.0	3.82	0.66	4.8	0.01	4.79	-	-
4.7	15.0	3.78	0.62	4.7	0.05	4.69	-	-
4.6	13.5	3.76	0.57	4.6	0.68	0.04	-	-
4.4	11.0	3.69	0.48	4.3	0.69	0.03	-	-
4.2	9.0	3.62	0.4	0.96	0.65	0.13	-	-
4.1	8.0	3.58	0.35	0.65	0.60	3.38	-	-
3.9	6.5	3.48	0.28	0.38	0.34	3.87	-	-
3.5	3.5	3.28	0.16	0.042	0.02	3.5	-	-
3.0	1.5	2.98	0.08	0.02	0.01	3.01	-	-
2.0	35 μA	1.95	0.0	0.01	0.01	2.0	-	-

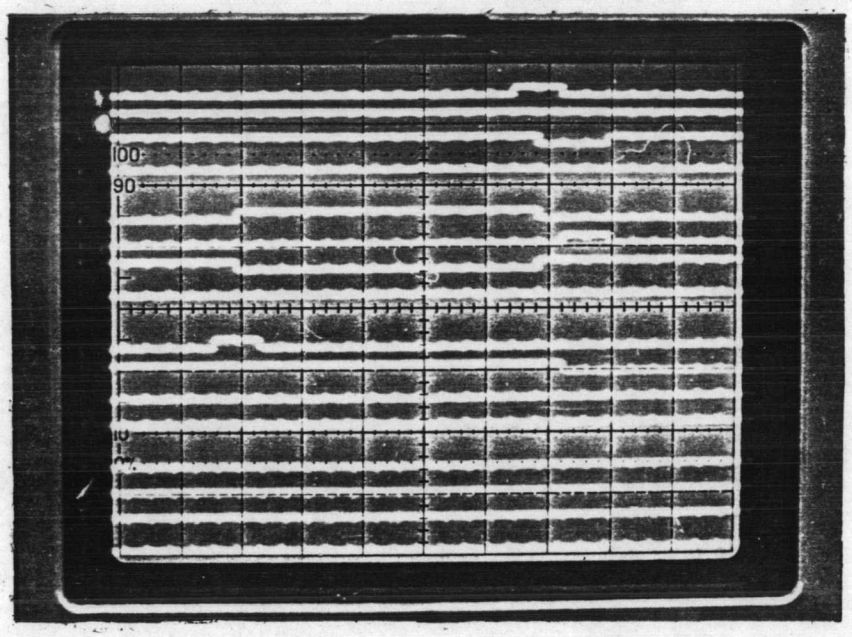
ตารางที่ ๑๑ การทดลองที่ ๔ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายไฟไม่มีแบตเตอรี่ Ni-Cd ต่ออยู่



รูปที่ ๔๗ กราฟผลการทดลองที่ ๔ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc



รูปที่ ๔๕ กราฟการทดลองที่ ๔ VpF กับ Vcc และ Vcmos กับ Vcc



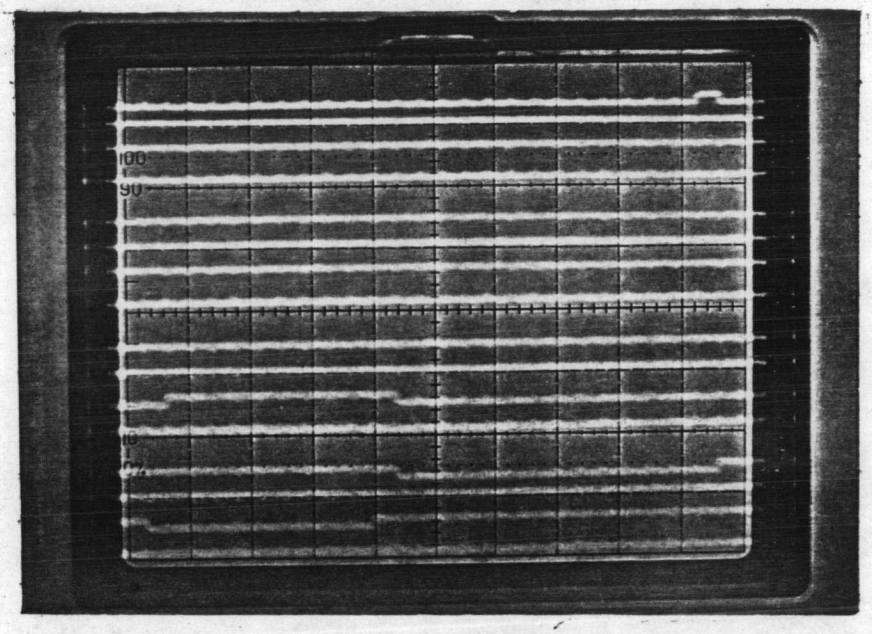
Sample Interval

50 nSec

รูปที่ ๔๙ การทดลองที่ ๕

ตารางที่ ๑๒ แสดงสัญญาที่วัดจากการทดลองที่ ๕

Channel	สัญญาน	ตำแหน่งที่วัด
0	TP 4	OMNIBUS CJ 2
1	MEM START	OMNIBUS AJ 2
2	LMAR	S 4-9
4	R/W CONTROL	S 8-2
5	STR	S 6-13
6	WE	S 8-6
8	TP 2	OMNIBUS CE 2
9	MA 11 L	S 27-1
10	MA 10 L	S 27-3
12	MA 9 L	S 27-5
13	MA 8 L	S 27-9



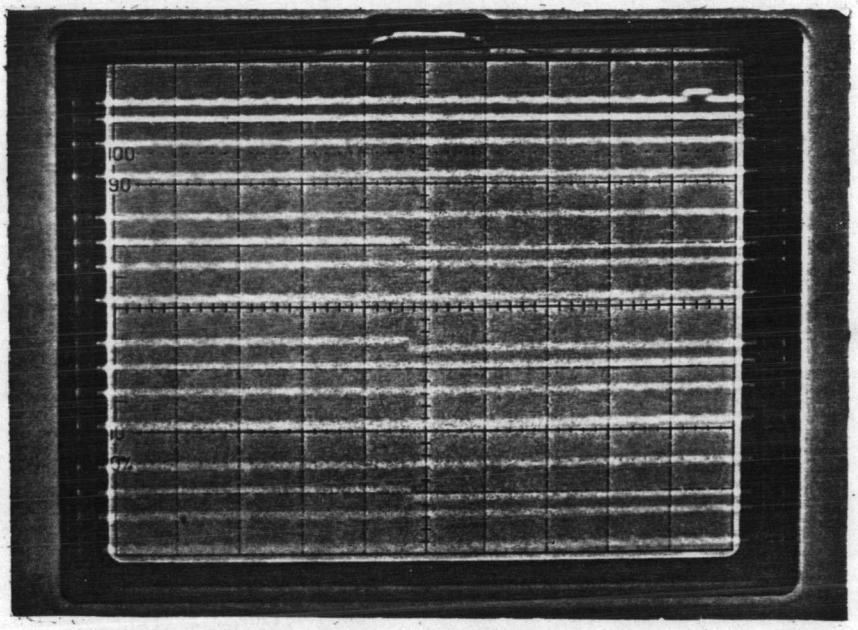
Sample Interval

50 nSec

รูปที่ ๕๐ การทดลองที่ ๖

ตารางที่ ๑๓ แสดงสัญญาณที่วัดจากการทดลองที่ ๖

Channel	สัญญาน	ตำแหน่งที่วัด
0	TP 4	OMNIBUS CJ 2
1	MA 6 L	S 27-13
2	MA 5 L	S 28-1
4	MA 4 L	S 28-3
5	MA 3 L	S 28-5
6	MA 2 L	S 28-9
8	MA 1 L	S 4-1
9	MA Ø L	S 4-3
10	READ I/O	S 14-3
12	WRITE I/O	S 9-3
13	POWER FAIL	S 8-5
14	MD DIR	S 8-4



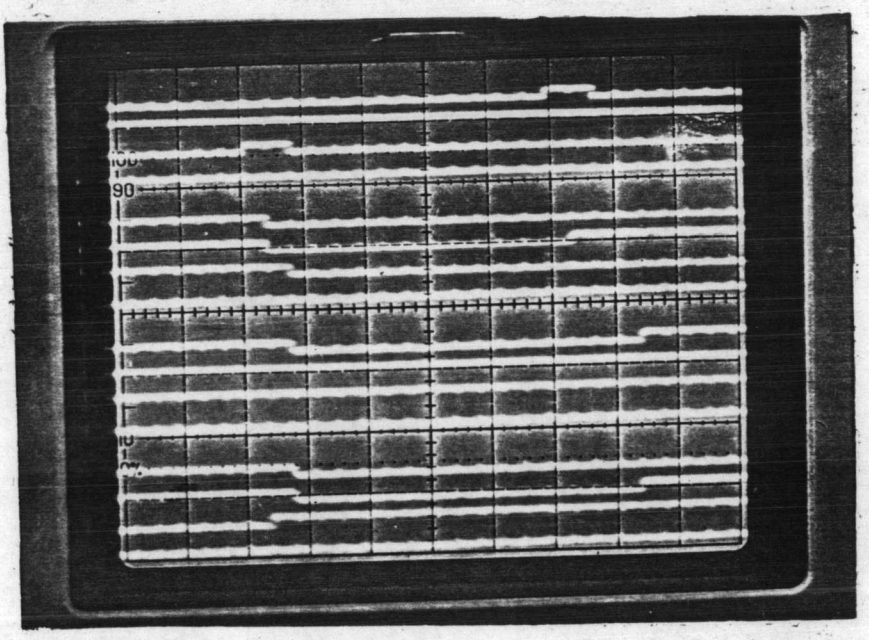
Sample Interval

50 nSec

รูปที่ ๕๑ การทดลองที่ ๗

ตารางที่ ๑๔ แสดงสัญญานที่วัดจากการทดลองที่ ๗

channel	สัญญาน	ตำแหน่งที่วัด
0	TP 4	OMMBUS CJ 2
1	MD 11 L	S 26-1
2	MD 1 Ø L	S 26-4
4	MD 9 L	S 26-1 Ø
5	MD 8 L	S 26-13
6	MD 7 L	S 22-1
8	MD 6 L	S 22-4
9	MD 5 L	S 22-10
10	MD 4 L	S 22-13
12	MD 3 L	S 18-1
13	MD 2 L	S 18-4



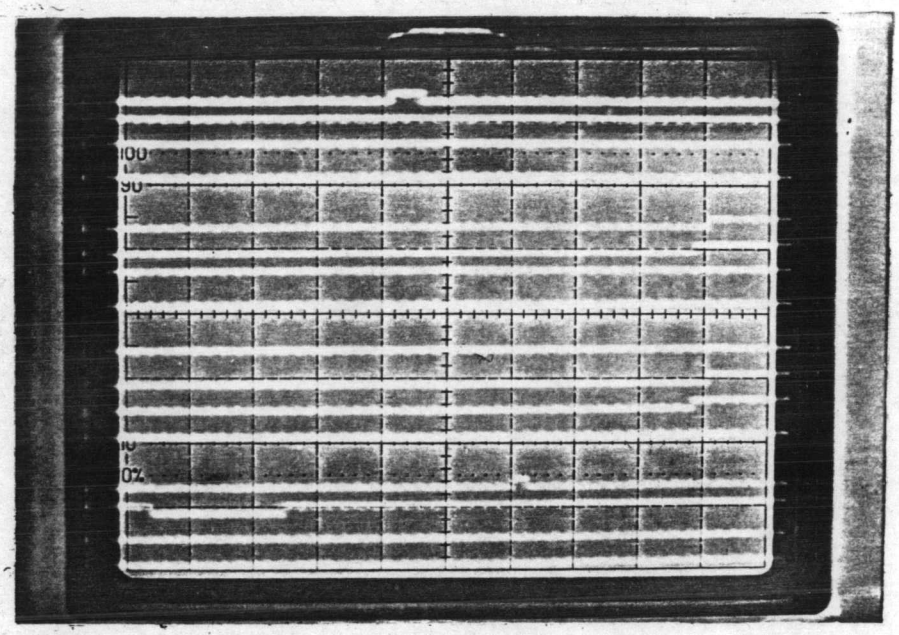
Sample Interval

50 nSec

รูปที่ ๕๒ การทดลองที่ ๘

ตารางที่ ๑๕ แสดงสัญญานที่วัดจากการทดลองที่ ๘

	Channel	สัญญาน	ตำแหน่งที่วัด
	0	TP 4	ONIBUS CJ 2
	1	MD Ø L	S 18-13
	2	TP 2	OMBUS CE 2
	4	READ I/O	S 14-6
	5	WRITE I/O	S 9-6
	6	MD 8 L	S 26-13
DEPOSIT	8	DI	S 23-12
	9	MD 7 L	S 22-1
	10	DI	S 21-6
	12	MD 6 L	S 22-4
	13	DI	S 21-12



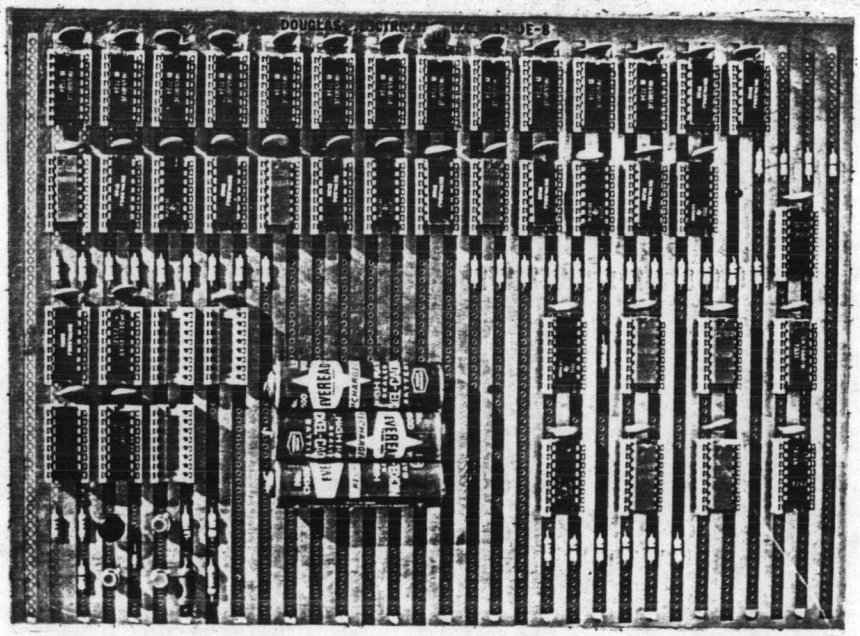
Sample Interval

50 nSec

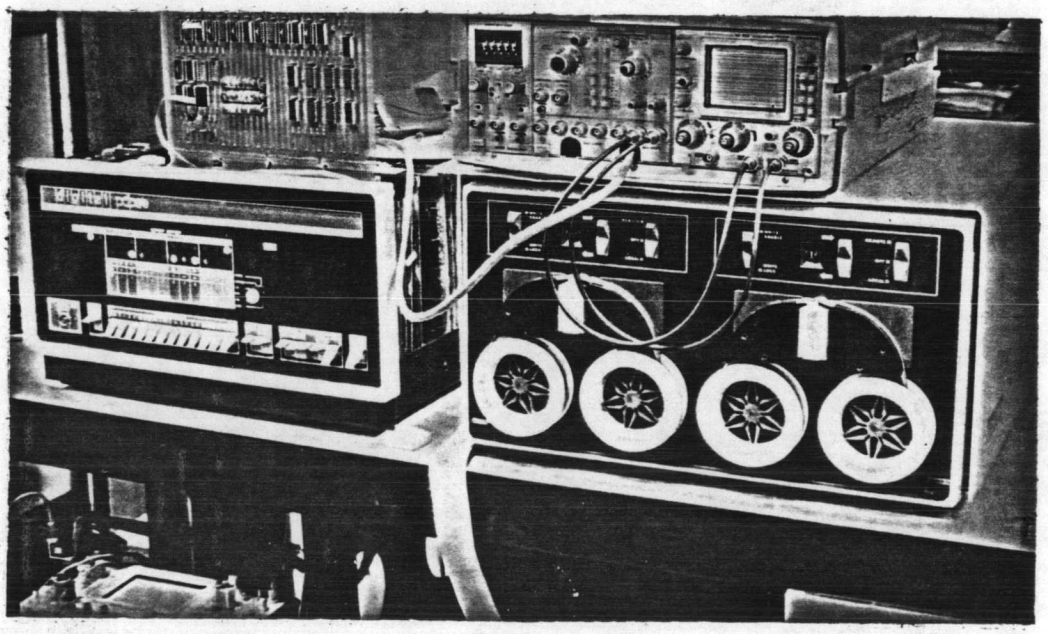
รูปที่ ๕๓ การทดลองที่ ๙

ตารางที่ ๑๖ แสดงสัญญานที่วัดจากการทดลองที่ ๙

	Channel	สัญญาน	ตำแหน่งที่วัด
	0	TP 2	OMNI BUS CE 2
	1	READ I/O	S 14 - 6
	2	WRITE I/O	S 9 - 6
	4	MD 8 L	S 26 - 13
	5	DO	S 23 - 9
EXAMINE	6	MD 7 L	S 22 - 1
	8	DO	S 21 - 1
	9	MD 6 L	S 22 - 4
	10	DO	S 21 - 9
	12	TP 3	OMNIBUS CH 2
	13	MEM START L	OMNIBUS AJ 2
	14	STOP L	OMNIBUS DS 2



รูปที่ ๕๔ แสดงแผ่นโมดูลส่วนความจำแบบ CMOS ขนาด 12/1024 bit-words ที่สร้างขึ้น



รูปที่ ๕๕ แสดงการต่อแผ่นโมดูลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ PDP- 8/E ขณะทำการทดสอบ