บทที่ ๓

หน่วยความจำวัสดุกึ่งตัวนำแบบ ซีมอส (CMOS)[4]

ซีมอส เป็นเทคโนโลยีที่นำเอา มอส-เฟท (MOS-FET) แบบ พี-แชนแนล (P-Channel) และ เอน-แชนแนล (N-Channel) มาต่อเป็นคอมพลีเมนทารี่คู่กัน โดยลักษณะของส่วนความจำแบบนี้อาศัย ซีมอส-อินเวอเตอร์ ๒ ชุด มาต่อไขว้กัน (Cross Coupled) กัน

วงจรอินเวอเตอร์ (Inverter) แบบคอมพลีเมนทารี่มอส

ใช้ พี-แชนแนล และ เอน-แชนแนล มาต่อกันเป็น อินเวอเตอร์ ดังรูปที่ ๑๕ ตัวบนทำหน้าที่เป็นโหลด เนื่องจากการฟราบริเคท (frabricate)ทรานซิสเตอร์ใช้เนื้อที่ใน chip น้อยกว่าตัวความต้านทาน และวิธีการง่ายกว่าสำหรับทรานซิสเตอร์ตัวล่างทำหน้าที่เป็น อินเวอเตอร์ การทำงานของวงจรนี้สิ้นเปลืองพลังงานต่ำมาก เนื่องจากกระแสจะไหลในวงจรเมื่อมีสัญญาณอินพุท เข้ามาทำให้วงจรเกิดการสวิทชิ่ง (Switching) ขึ้นเท่านั้น แหล่งจ่ายไฟแก่ ซีมอส นี้อาจใช้สัญลักษณ์ V_{DD} กับ V_{ss} หรือ V_{cc} กับกราวด์ (Ground) ก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ระดับโลจิกในระบบนี้ใช้ V_{cc} เป็นโลจิก "๑" และกราวด์เป็นโลจิก "๐"

คุณสมบัติของ มอสทรานซิสเตอร์ บอกให้ทราบถึง ช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงขึ้น (Rise Time) ช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงลง (Fall Time) การหน่วง เนื่องจากการเคลื่อนที่ (Propgation Delay) และการสูญเสียพลังงาน ขณะที่การทำงานที่ enhancement mode มี V_{GS} เป็นศักย์การขับที่คงที่ แต่เปลี่ยนค่าตาม V_{cc} ทรานซิสเตอร์ทำงานเมื่อ V_{DS} (Drain to Source Voltage) มีค่ามากกว่า $V_{GS}-V_T$(V_T เป็น Voltage ต่ำสุดที่มอสทรานซิสเตอร์ทำงาน) เมื่อ V_{DS} มีค่าน้อยกว่านี้แล้ว ทรานซิสเตอร์จะแสดงคุณสมบัติเป็นตัวความต้านทานตัวหนึ่งเท่านั้น จาก Curve รูปที่ ๑๖ จะเห็นว่ากระแส I_{DS}(Drain to Source Current) มีค่าสูงขึ้น ถ้าหากว่า V_{GS} เพิ่มขึ้น

เมื่อเพิ่ม V_{cc} ขึ้นไปโดยที่ V_T คงที่ไว้ V_{GS} จะขับ (drive) ให้กระแส I_{DS} ไหลเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองเท่าของ V_{GS} ดังนั้น เวลาในการเปลี่ยนขึ้น และเวลาในการเปลี่ยนลงของศักดาที่อินพุท และเอาท์พุท ขึ้นอยู่กับ V_{CC} ถ้าหาก V_{CC} เพิ่มขึ้น เวลาการเปลี่ยนขึ้นและลงจะรวดเร็วขึ้น ทำให้ความเร็วสูงขึ้น ดังรูปที่ ๑๗ แต่มีข้อเสียที่ว่า พลังงานสูญเสียแบบ AC ในตัวซีมอสเพิ่มขึ้นด้วย

ระหว่างทรานซิสเตอร์ ๒ ต้องการสวิทชิ่ง กระแส I_{DS} จะไหล ถ้าหากเวลาในการเปลี่ยนขึ้นและลงของสัญญาณน้อยมาก เพราะการสวิทชิ่งรวดเร็ว กระแสที่ไหลจะไหลเพียงช่วงเวลานิดเดียว ผลก็คือ พลังงานสูญเสียแบบ DC จะลดลงดู transfer characteristic curve ตามรูปที่ ๑๘

<u>พลังงานสูญเสียแผ่กระจาย (Power discipate)</u>(5)

ในการทำงาน ซีมอส มีพลังงานสูญเสียแผ่กระจายเกิดขึ้นอยู่ ๒ ชนิด

ก. พลังงานสูญเสียการแผ่กระจาย AC

ข. พลังงานสูญเสียการแผ่กระจาย DC

ก. <u>พลังงานสูญเสียการแผ่กระจาย AC</u> เป็นพลังงานที่สูญไปเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟความถี่จากแหล่งจ่ายไฟ และค่าความจุที่เกิดขึ้นที่เอาท์พุท

$$P_{AC} = CV_{CC}^2 f$$

เมื่อ f เป็น frequency

C เป็นค่าcapacitive ที่ Load

V_{CC} เป็นศักดาที่จ่าย (Supply Voltage)

ข. <u>พลังงานสูญเสียการแผ่กระจาย DC</u> เกิดขึ้น เมื่อมีการสวิทชิ่ง เพราะมีการไหลในช่วงนี้ DC Transient power แสดงตามรูปที่ ๑๙

$$P_{AC} = V_{CC} \times \frac{1}{2} I_{max} \times \text{RISE TIME TO PERIOD RATIO}$$

$$\text{RESE TIME TO PERIOD RATIO} = \frac{V_{CC} - 2V_T}{V_{CC}} \times \frac{t_{rise} + t_{fall}}{t_{total}}$$

เมื่อ $\frac{1}{t_{total}}$ = Frequency

$$\therefore \quad P_{DC} = \frac{1}{2} (V_{CC} - 2V_T) I_{CC\ max} (t_{rise} + t_{fall}) \quad FREQ$$

การป้องกันวงจรโลจิก (4)

เนื่องจาก ซีมอส device มีขนาดเล็กและค่าความจุที่เกทมีค่าน้อยมาก เมื่อมีประจุที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นเพียงเล็กน้อย จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาจำนวนมากขึ้นที่เกท และศักดาจำนวนนี้อาจจะมีค่าสูงเกิน Break down voltage ดังนั้นโอกาสที่ซีมอส device เสียหายจึงมีมาก แต่สำหรับเมืองไทยจะไม่เกิดปัญหานี้ เนื่องจากความชื้นบ้านเราสูงกว่าประเทศผู้ผลิต ซีมอส เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ผู้ผลิตจึงหาวิธีป้องกันโดยใช้ ไดโอด เป็นตัวป้องกันต่อเข้าที่เกทของทุก ๆตัวใน chip IC ส่วนที่เป็นอินพุท ดังในรูปที่ ๒๐

ไดโอด ตัวนี้จะทำงานเมื่อมีศักดาอินพุทที่เกทมากกว่า V_{CC} ทำให้ศักดาอินพุทเท่ากับ V_{CC} ดังนั้นจึงควรระวังในการมือหยิบทดลอง อาจจะมีประจุสะสมบนมือ ซึ่งจะมีผลต่อซีมอสได้ จึงควรจะเอามือแตะกราวด์ก่อนทุกครั้ง

การอ่านและเขียน ในเซลของซีมอส (Read-Write C-Mos Cell)

เนื่องจากคุณสมบัติของอินเวอเตอร์ที่ได้ทราบแล้ว สามารถนำมาสร้างเป็นเซลความจำแบบ ซีมอสขึ้น ตามรูปที่ ๒๑ โดยเอา อินเวอเตอร์ ๒ ตัวมาต่อเป็นวงจรไบสเตเบิล (Bi-Stable) ดังรูปที่ ๒๑ สามารถใช้เป็นส่วนของหน่วยความจำแบบ สแตติค (Static) โดยจ่ายพลังงานให้เพียงนิดเดียวก็สามารถจะทำงานเก็บข้อมูลได้ ถ้าหากการจ่ายพลังงาน (Power Supply) เพิ่มขึ้น ความเร็วก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยสภาวะปกติที่ Node(1) จะอยู่สภาวะ กราวด์และที่ node(2) อยู่สภาวะ $+V_{CC}$ ดังนั้นขณะนี้ node(1) เก็บข้อมูล "0" และ node(2) เก็บข้อมูล "1" อยู่ และจะเป็นอยู่อย่างนี้เรื่อยไปจนกว่าตัดแหล่งจ่ายพลังงานออกไป หรือป้อนสัญญาณอินพุท เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในเซล

เมื่อ node(1) อยู่สภาวะกราวด์ P_2 จะทำงาน (ON) แต่ N_2 ยัง off อยู่ด้วยสภาวะของกราวด์จะต่อ bias คร่อมอยู่ และจากสภาวะนี้ทำให้ P_1 off และ N_1 ทำงานจาก bias ที่ได้จาก V_{CC} เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลก็ป้อนอินพุทเข้ามาที่ bit line(1) ทำให้ ซีมอสเซลเปลี่ยนสภาวะเป็นครงข้าม (ฉลับ - State) อุปกรณ์ทุกตัวก็จะทำงานกลับกันกับสภาวะปกติครั้งแรก โดยพลังงานที่จ่ายให้แก่เซลนี้ กำหนดได้จากกระแสที่ไหลผ่าน MOS FET 2 ตัวที่ทำงานอยู่ในสภาวะใด ๆ การอ่านและเขียนควบคุมโดยสัญญาน Word Select

การ Interface CMOS กับ TTL(IS หรือ L)[6]

การ Interface นี้ ต้องคำนึงถึงชนิดและคุณสมบัติของโลจิก เกทที่ใช้ Interface ด้วยว่ามีลักษณะการทำงานเป็นอย่างไร การ Interface TTL กับ CMOS แสดงตามรูปที่ ๒๓ โดยที่ TTL และ CMOS ใช้แหล่งจ่ายไป (V_{CC}) 5 Volt เท่ากันนี้ ถ้าหากว่าระดับเอาท์พุทของ TTL มีค่ามากกว่า V_{CC}- 1.2 Volts ก็สามารถจะนำไปต่อ interface กับ CMOS ได้โดยตรงเลย แต่ถ้าหากระดับของ TTL มีค่าน้อยกว่านี้ ต้องใช้ความต้านทานต่อยกระดับศักดาให้สูงขึ้น (Pull up) จึงสามารถจะขับ CMOS ให้ทำงานได้ แสดงตามรูปที่ ๒๒

ถ้าให้ CMOS ต่อ interface กับ TTL อีกขั้นหนึ่งจะต้องคำนึงถึงกระแสที่เอาท์พุทของ CMOS ด้วย โดยปกติ CMOS เพียงพอสำหรับขับ TTL เกทแบบ L (Low power) และแบบ LS (Low power schottky) TTL ได้เพียง ๑ อินพุท (Fanout เท่ากับ1) เท่านั้น จึง Interface กันได้โดยตรง

แหล่งจ่ายไฟสำรอง (Power Back Up)[7]

จากคุณสมบัติของซีมอส ที่กินกระแสน้อยทำให้เกิดพลังงานสูญเสียต่ำ ดังนั้นจึงสามารถนำแบตเตอรี่แบบชาร์จใหม่ได้ (Rechargable) มาใช้เพื่อจ่ายไฟสำรองให้แก่หน่วยความจำแบบซีมอสให้สามารถเก็บข้อมูลเอาไว้เวลาปิดเครื่อง การทำงานปกติ เมื่อเปิดสวิทซ์แหล่งจ่ายไฟ ระบบความจำจะทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟแบบกระแสของ (DC) และส่วนที่หนึ่งจะไปชาร์จไฟให้แก่แบตเตอรี่ด้วย แต่เมื่อสวิทซ์แหล่งจ่ายไฟ แบตเตอรี่ก็จะจ่ายไฟสำรองที่ชาร์จเก็บเอาไว้ออกไปให้แก่ระบบความจำ

แบตเตอรี่ที่นิยมใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง ได้แก่ นิเกิล แคดเมี่ยม (Ni - Cd) มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าขนาดความจุ (mAH) และศักดาในเซลเป็นฟังค์ชั่นของอัตราการจ่ายประจุออก (Discharge Rate) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะทำงานด้วย

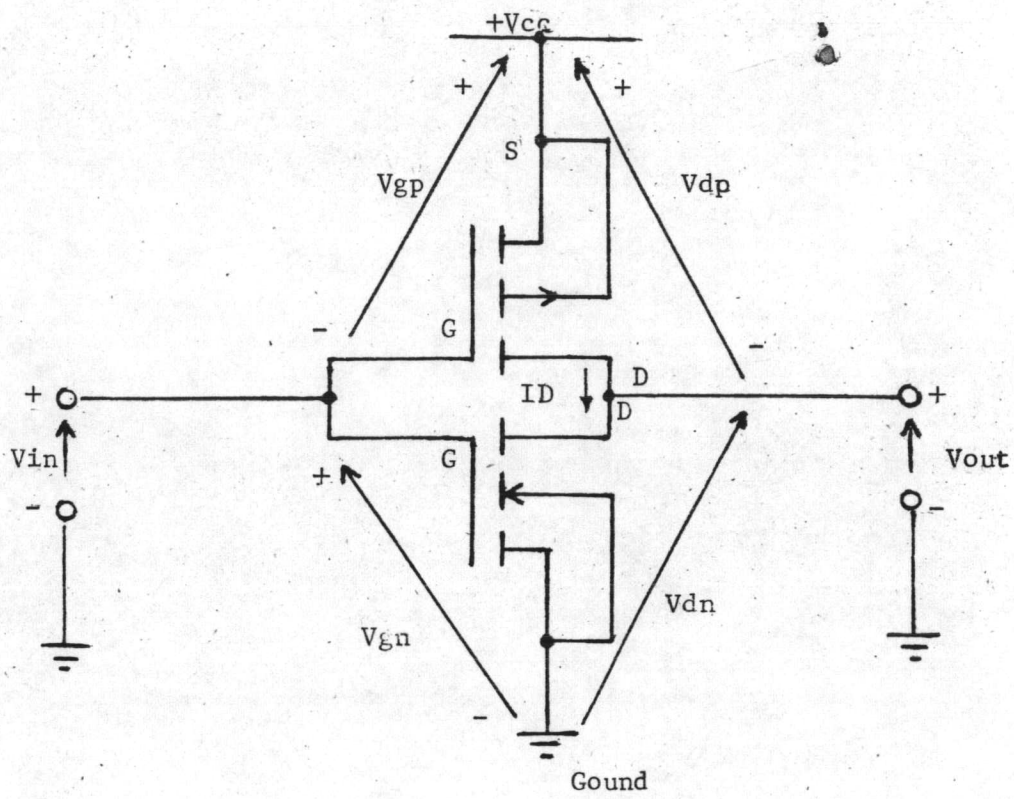
ในรูปที่ ๒๓ แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความจุ (mAH) เปรียบเทียบกันระหว่างแบตเตอรี่ ๒ ชนิด

เส้น Curve ที่ (๑) กรณีถูกชาร์จ ไว้มากเกินระดับปกติ และการดิสชาร์จ (discharge) ไม่สม่ำเสมอ

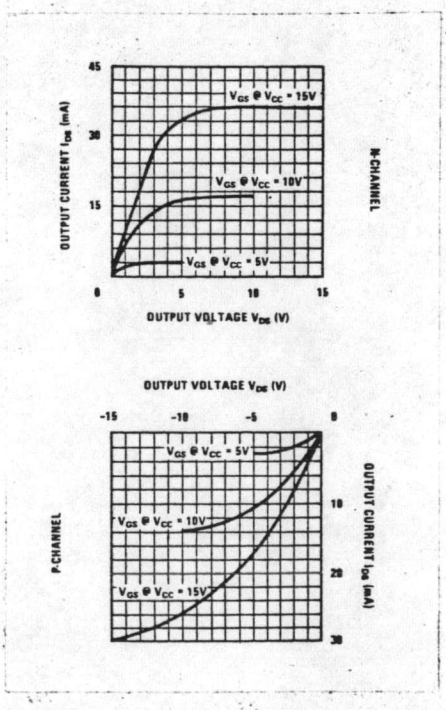
เส้น Curve ที่ (๒) กรณีถูกชาร์จไว้ตามปกติ และการดิสชาร์จเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

การดิสชาร์จของแบตเตอรี่นั้นเกิดขึ้นโดยไม่ต้องต่อโหลด ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานควรจะตรวจสอบดูเสียก่อน แม้ว่าอาจจะเพิ่งชาร์จไฟใหม่ ๆ ทั้งนี้ ระดับความจำกระแส mAH อาจไม่เพียงพอ ส่วนอัตราการสูญเสียความจุกระแส (mAH) เนื่องจากการดิสชาร์จในตัวเองนั้นเกิดขึ้นประมาณ ๗% ต่อวัน ที่อุณหภูมิ ๕๐°C แต่หากอุณหภูมิปกติ ๒๕°C จะมีอัตราสูญเสียประมาณ ๑% ต่อวัน

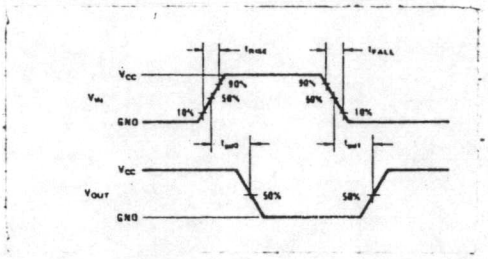
คุณสมบัติการดิสชาร์จ ของแบตเตอรี่แบบนี้จะนำเอาส่วนที่เรียบ (Linear) มาใช้งานกับระบบความจำ ศักดาเอาท์พุท ขึ้นอยู่กับเวลา ดูในรูปที่ ๒๔ แสดงให้เห็นคุณสมบัติการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ ซึ่งเมื่อไฟถึงระดับ 1 Volts แล้วจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ต้องนำไปชาร์จประจุใหม่



รูปที่ ๑๕ วงจร CMOS อินเวอเตอร์ แบบง่าย

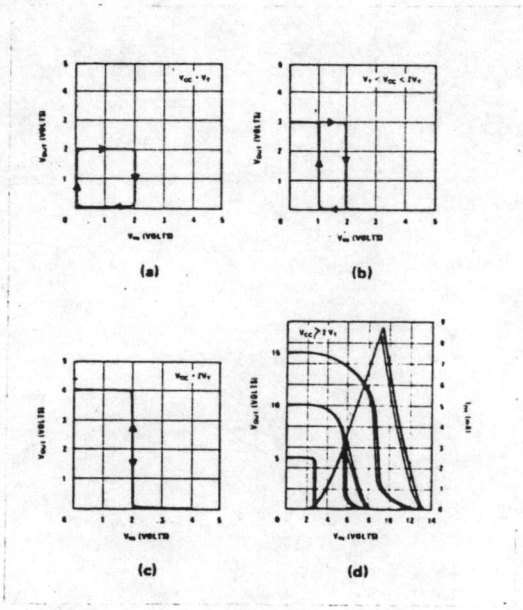


รูปที่ ๑๖ แสดงโลจิก "๑" มีศัก ดาเอาท์พุท เปรียบเทียบกับกระแส Source

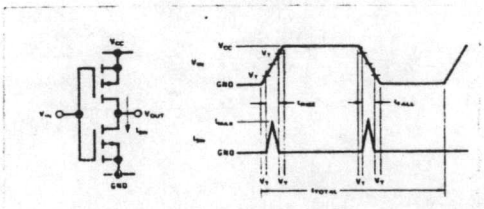


หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

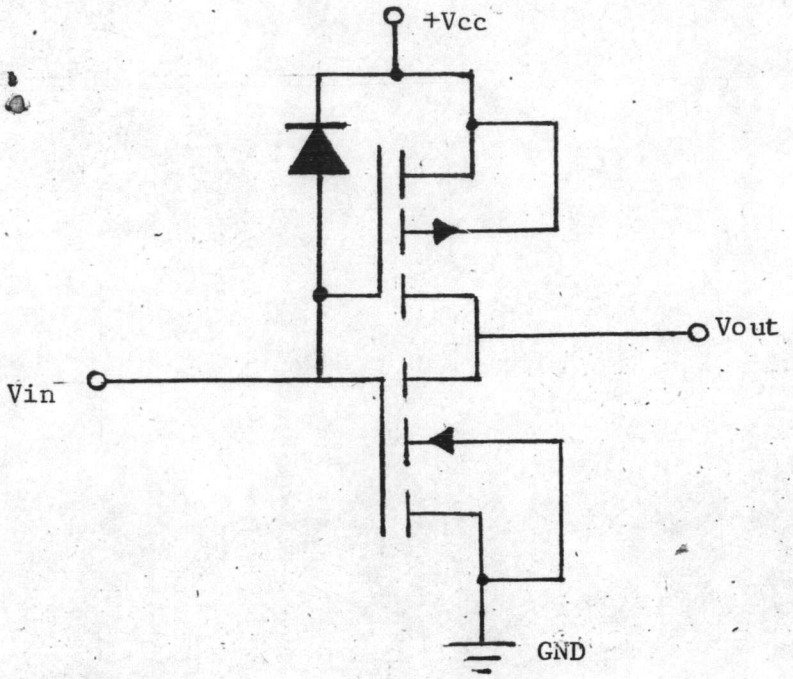
รูปที่ ๑๗ แสดง Rise และ Fall Time และ Propagation delays วัดได้ที่ อินพุท และ เอาท์พุท ของ CMOS



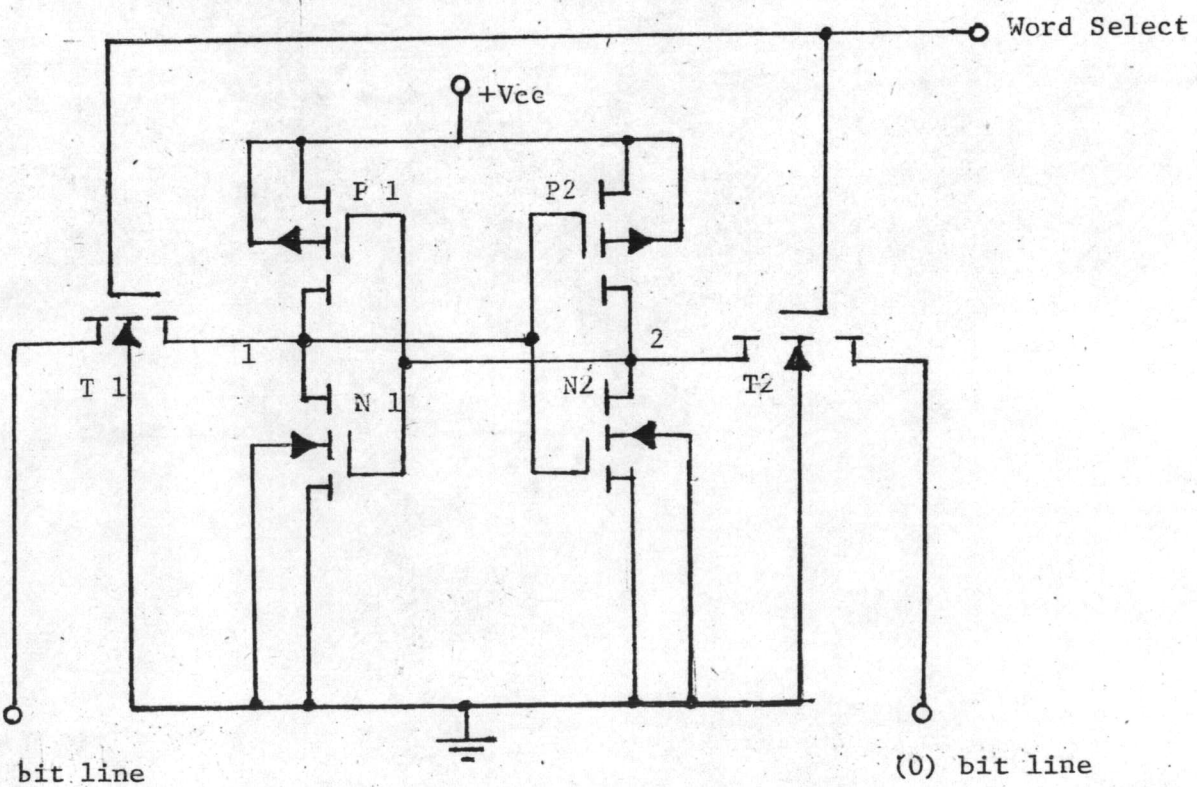
รูปที่ ๑๘ แสดง Transfer characteristics curve เปรียบเทียบกับ Vcc



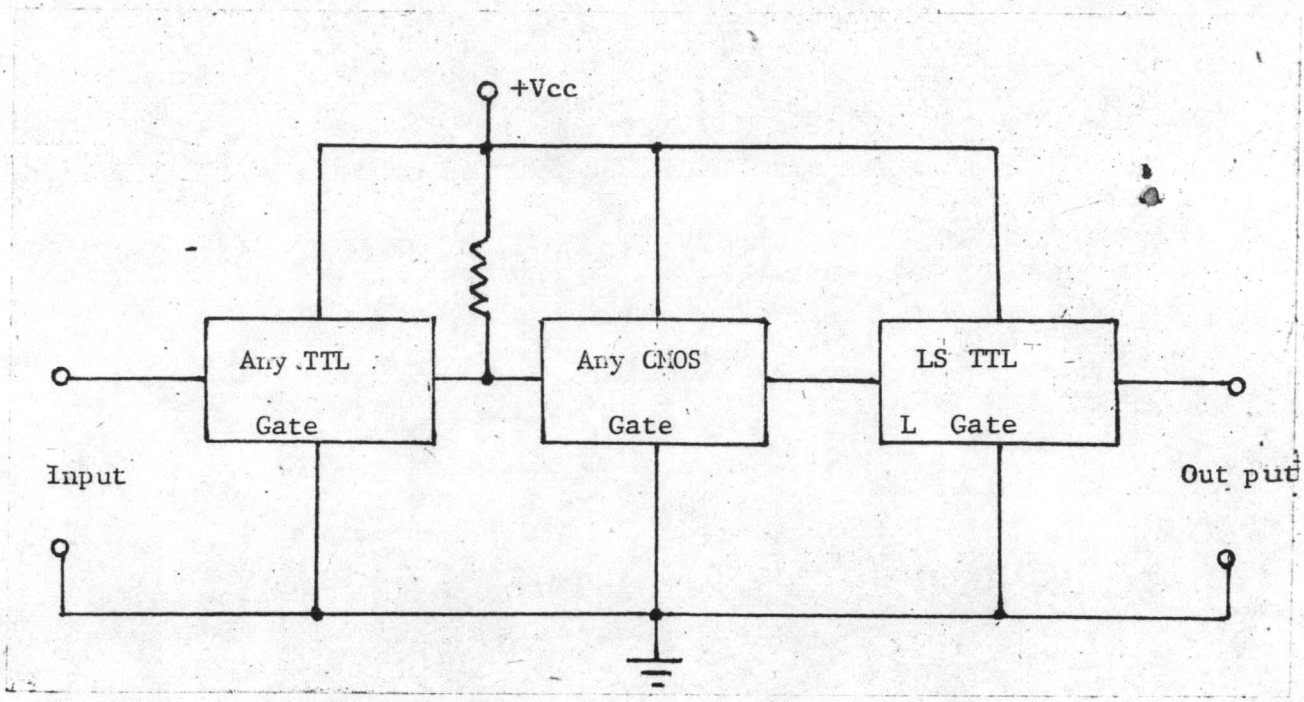
รูปที่ ๑๙ แสดง DC transient Power



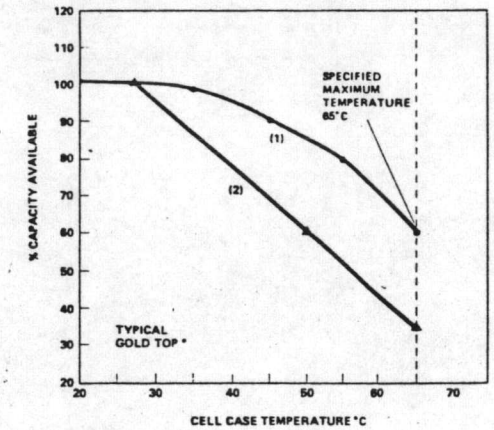
รูปที่ ๒๐ แสดง CMOS อินเวอเตอร์มีไดโอดป้องกัน

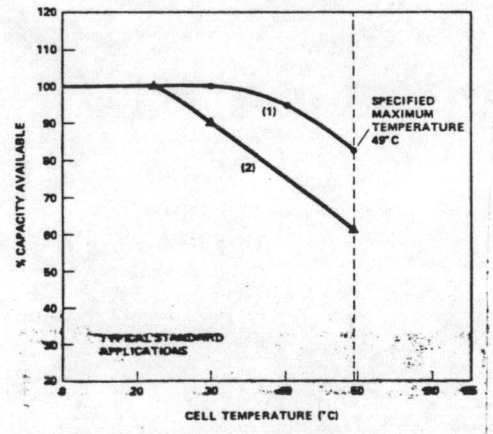


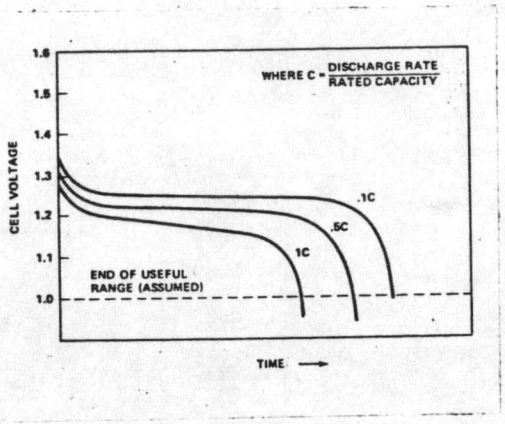
รูปที่ ๒๑ วงจรไบสเตเบิล CMOS สำหรับ Static RAM Cell



รูปที่ ๒๒ แสดงการ Interface ระหว่าง TTL กับ CMOS







รูปที่ ๒๔ แสดงคุณสมบัติการ discharge voltage ของ Ni-Cd Battery