ภาคผนวก ก

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผู้ทำงานวิจัยใช้เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11ของบริษัทอีทีทีจำกัด เบอร์ MC68HC811E2FN เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยี HCMOS (High-density CMOS) มีความเร็วในการทำงานสูง ขณะเดียวกันก็ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ ได้ออกแบบเพื่อรวบรวมคุณสมบัติต่าง ๆ มารวมกันไว้ภายในบอร์ดเดียวกัน สามารถใช้เป็นชุดจำลองการทำงาน (emulator) เพื่อใช้ในขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมและเขียนข้อมูลเข้าในตัวหน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit : CPU) เพื่อนำไปใช้เป็นบอร์ดควบคุมระบบได้ทันที ทำให้สะดวกและประหยัดมากขึ้น

โดยทั่วไปแล้วสามารถสรุปคุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ได้เป็น 2 ลักษณะที่สำคัญดังนี้

คุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) เบอร์ 68SEC811E2 ขนาด 8 บิต
2. หน่วยความจำรอม (ROM) ภายใน สำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 8 กิโลไบต์
3. หน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM) ภายใน ขนาด 512 ไบต์
4. หน่วยความจำแรม (RAM) ภายใน ขนาด 256 ไบต์
5. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต จำนวน 8 ช่อง
6. ส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial Communication Interface : SCI)
7. วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (Serial Peripheral Interface : SPI)

8. สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
9. สามารถต่อเชื่อมกันทำงานเป็นแบบมัลติโปรเซสเซอร์ได้

คุณสมบัติทางซอฟต์แวร์

1. มี 2 ภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมระบบ คือ ภาษา SBASIC และภาษา ASSEMBLY
2. มีชุดคำสั่งเพิ่มเติมจากไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 6800 และ 6801 และสามารถใช้ชุดคำสั่งเดียวกับเบอร์ 6800 และ 6801
3. สามารถประมวลผลข้อมูลละเอียดถึงระดับบิต และทำการหารเลข 16 บิต โดยได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลข 16 บิต และเศษขนาด 16 บิต
4. มีโหมดการทำงาน WAIT และโหมด STOP เพื่อประหยัดพลังงาน

โครงสร้างของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU) เบอร์ 68SEC811E2 ภายในชิปประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก ดังนี้

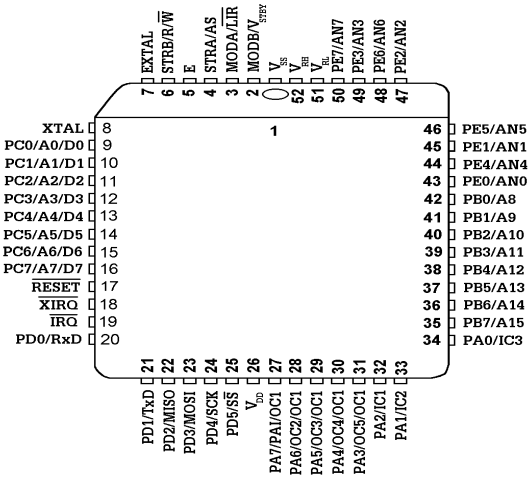
1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU) ส่วนนี้มีส่วนประกอบย่อยอีก 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมโหมดการทำงานของชิป (MODE) ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (CLK) และส่วนลอจิก อินเตอร์รัปต์ (INT) ทั้งสามส่วนจะได้รับการควบคุมการทำงานจากหน่วยประมวลผลกลาง
2. หน่วยความจำภายในชิปซีพียูของ 68SEC811E2 มีหน่วยความจำครบทั้ง 3 แบบ คือ รอม แรม และ อีอีพรอม ซึ่งการต่อและการเรียกใช้หน่วยความจำนี้ จะขึ้นอยู่กับหน่วยประมวลผลกลางเป็นหลัก
3. แอกคิวมูเลเตอร์ – วอตช์ด็อก- ตัวตั้งเวลาหลัก ในส่วนนี้จะติดต่อกับ

พอร์ต A โดยใช้พอร์ต A เป็นทางผ่านของข้อมูลพัลส์แอกคิวมูเลเตอร์จะใช้พอร์ต PA7 ในขณะที่ ส่วนตั้งเวลาหลักจะใช้พอร์ต PA3 - PA6 ภายในชิปยังมีวงจรวอตช์ด็อกเพื่อช่วยให้ชิปสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีการรีเซตระบบอยู่บ่อยๆ ก็ตาม

4. พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ในชิปซีพียูของ 68SEC811E2 จะมีพอร์ตอินพุตและพอร์ต เอาต์พุตด้วยกัน 5 พอร์ต ดังนี้ พอร์ต A เป็นทั้งพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตโดยมีการทำงานแยกกันคือ PA7 เป็นพอร์ตที่สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ 2 ทิศทาง ในขณะที่ PA3 - PA6 เป็นพอร์ตเอาต์พุตของตัวตั้งเวลาหลัก และ PA0 - PA2 เป็นพอร์ตอินพุต

5. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลเป็นวงจรที่ช่วยเสริมให้ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในหน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู เบอร์ 68SEC811E2 มีจำนวน 8 ช่อง การเรียกใช้วงจรส่วนนี้จะได้รับการควบคุมจากหน่วยประมวลผลกลาง

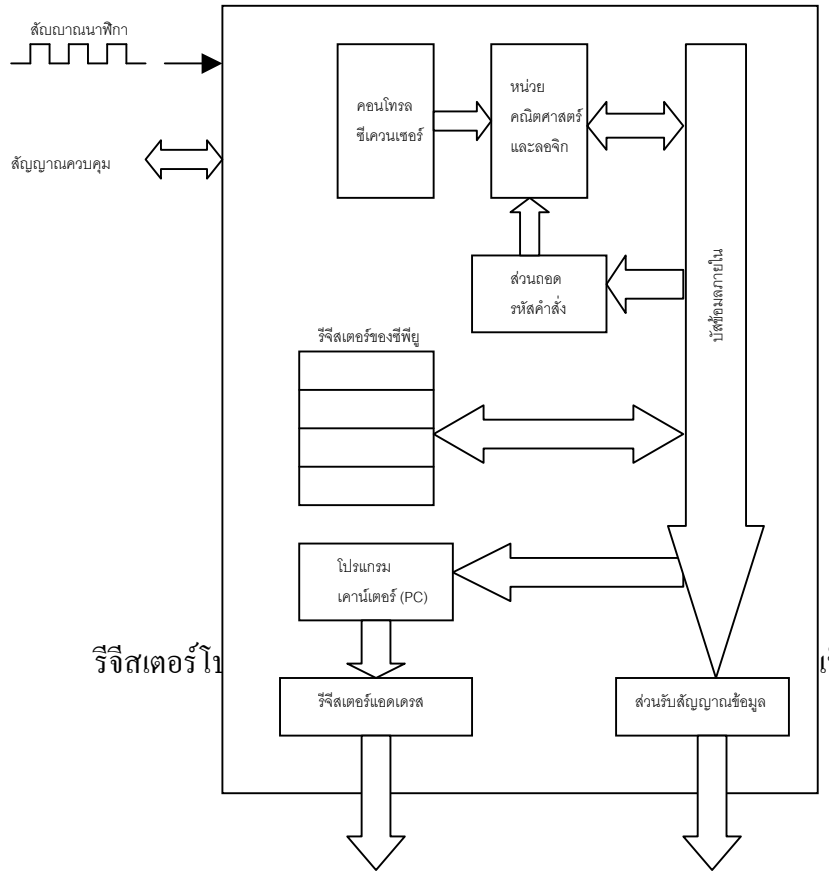
6. สโตรบ/แฮนด์เชก ส่วนนี้จะทำงานร่วมกับส่วนขยายบัสด้วย ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยประมวลผลกลางสามารถทำงานกับแอดเดรสได้ถึง 16 บิต ที่ส่วนนี้จะมีสัญญาณ ที่สำคัญๆ อยู่ 2 สัญญาณ คือ STRB/B/$\overline{W}$ และ STRA/AS ทั้งสองเป็นสัญญาณสโตรบทำให้ชิปอ่านและเขียนข้อมูลได้ ส่วนวงจรแฮนด์เชกมีไว้เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการรับส่งข้อมูลของชิปกับอุปกรณ์ภายนอก



ภาพที่ 59 แสดงขาสัญญาณต่างๆ ของซีพียูเบอร์ 68SEC811E2

การทำงานของซีพียู (CPU) 68HC11

กระบวนการทำงานของซีพียู (CPU) จะแบ่งเป็นช่วงเฟตช์ และเอ็กซีคิวต์ ช่วงเฟตช์คือ ช่วงที่ซีพียูทำการถอดรหัสคำสั่งที่รับเข้ามาเพื่อเตรียมปฏิบัติ และช่วงเอ็กซีคิวต์คือ ช่วงที่ซีพียูทำงานตามคำสั่งนั้นๆ โดยซีพียูจะมีรีจีสเตอร์ไว้ทำงานหลายตัว ดังนี้



ภาพที่ 60 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของซีพียู

รีจีสเตอร์โ[illegible]เป็นบัสข้อมูลภายในให้ทราบว่า ขณะ[illegible]ซีพียู ส่วนรีจีสแอดเดรสทำที่กำหนดสภาวะของบัสเดรส ดังภาพที่ 59

บัสแอดเดรสภายนอกจะทำหน้าที่เป็นตัวเลือกตำแหน่งของหน่วยความจำ เพื่อเรียกหรือถ่ายทอดข้อมูล ส่วนรับสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดสภาวะของสัญญาณข้อมูลที่ขับเข้าหรือส่งออกไปยังหน่วยความจำหรือรีจีสเตอร์เอาต์พุต ลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 60 ของบล็อกไดอะแกรมของซีพียู

ภาคผนวก ข

การเขียนแผนภูมิสายงานโปรแกรม (Flowchart)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้ากับการแพร่ของไอออนในสารละลาย จำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ การรับและส่งข้อมูล รวมไปถึงการนำข้อมูลไปคำนวณด้วยวิธีการเชิงตัวเลข แสดงผลข้อมูลและการพลอตกราฟเพื่อให้การทำงานระหว่างชุดทดลองเรื่องสนามไฟฟ้าและเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ถูกต้อง เที่ยงตรงและแม่นยำ

การสร้างซอฟต์แวร์ดังกล่าวนี้ ได้แสดงแนวความคิด (algorithm) หรือแผนภูมิสายงานของโปรแกรม โดยแยกพิจารณาดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แผนภูมิของโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์
ตอนที่ 2 แผนภูมิของโปรแกรมสำหรับการรับและส่งข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ผลข้อมูล

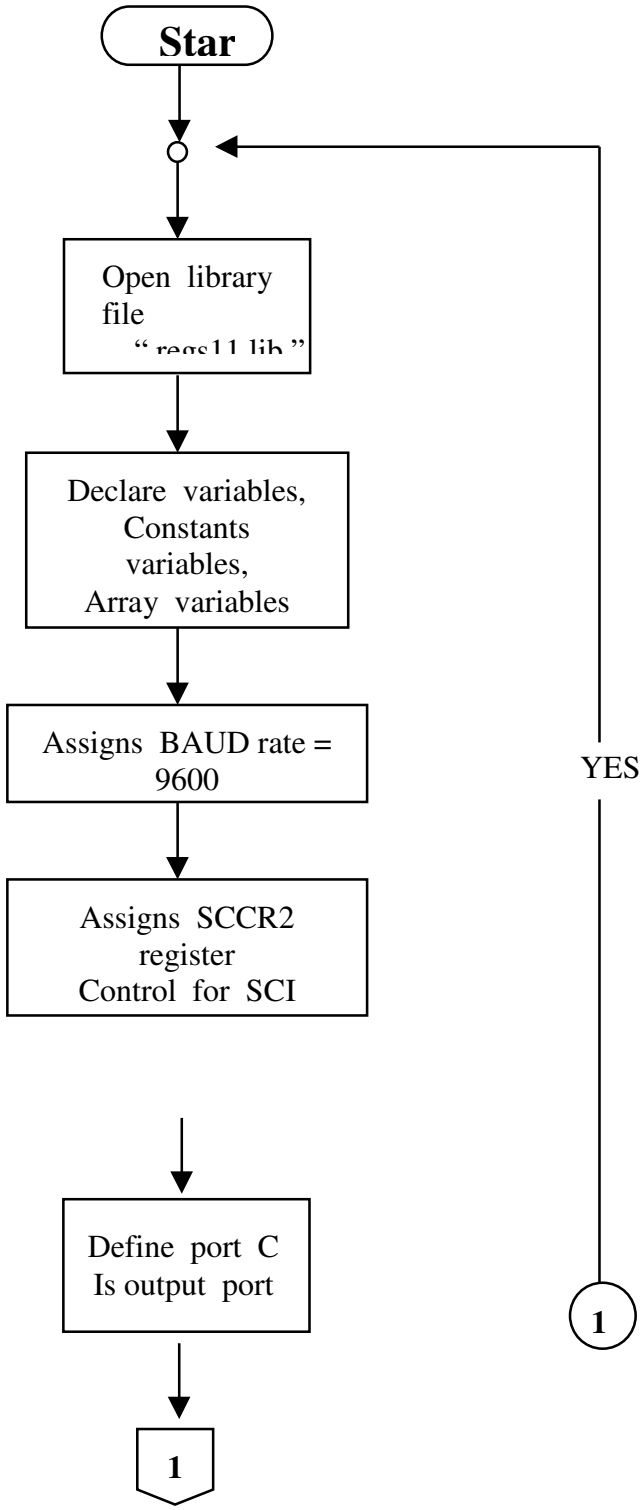
ตอนที่ 1 แผนภูมิของโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์

แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมส่วนนี้ พัฒนาด้วยภาษา SBASIC เป็นภาษาที่ทำงานเฉพาะบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ 68HC11 เพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์หรือส่วนชุดทดลองสนามไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม โปรแกรมดังกล่าวนี้ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ค ยังต้องทำงานสัมพันธ์กับโปรแกรมที่ควบคุมส่วนซอฟต์แวร์ซึ่งทำการรับและส่ง ข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ผลข้อมูล โปรแกรมในส่วนนี้ คือ sea.bas โดยการทำงานยังสามารถแยกแบ่งเป็นโปรแกรมย่อย ดังนี้ คือ

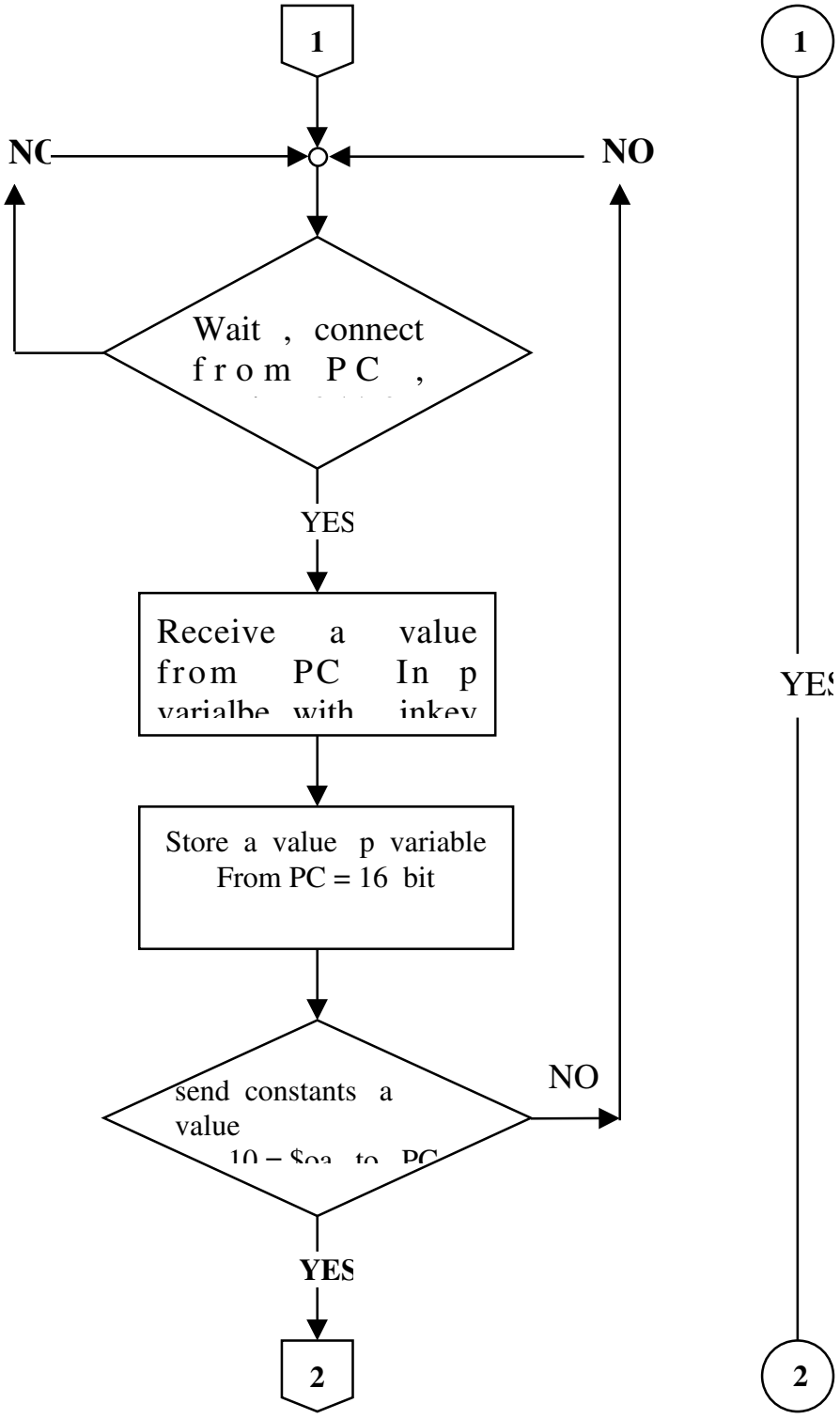
แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับ
เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยส่วนเก็บข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลต่อไปยัง
เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผล

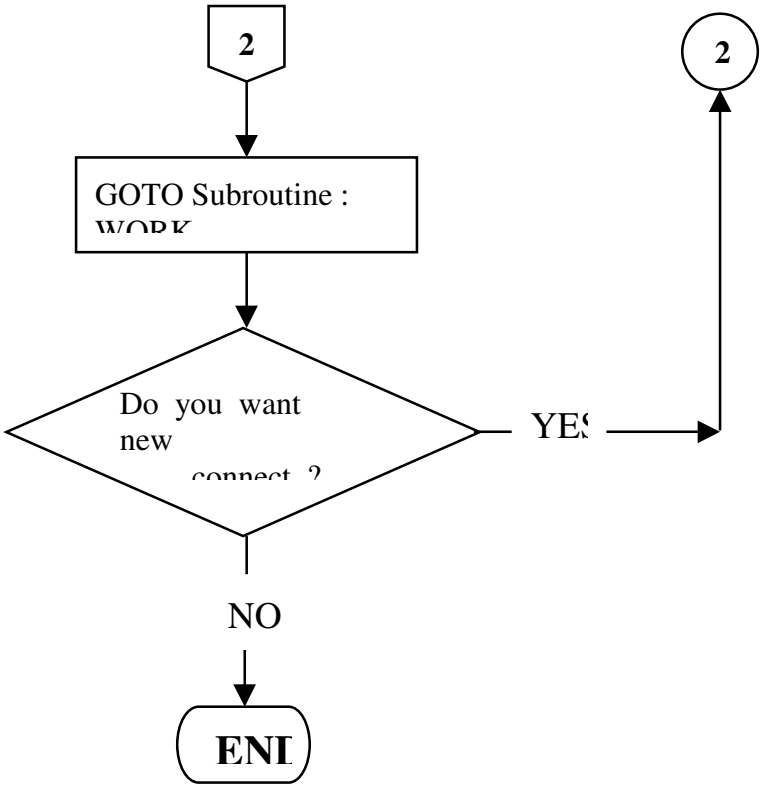
แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังต่อไปนี้



ภาพที่ 61 แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

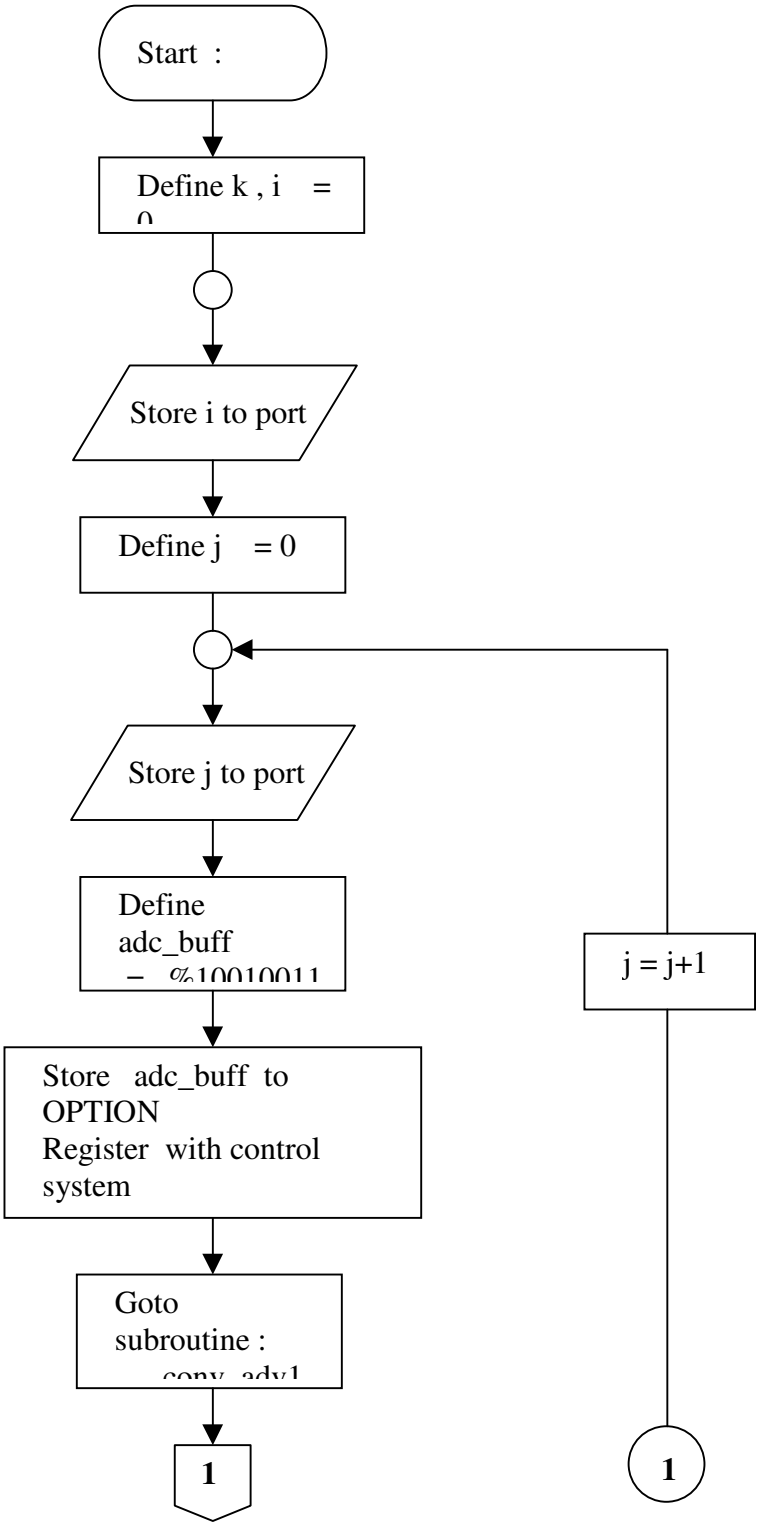


ภาพที่ 61 แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

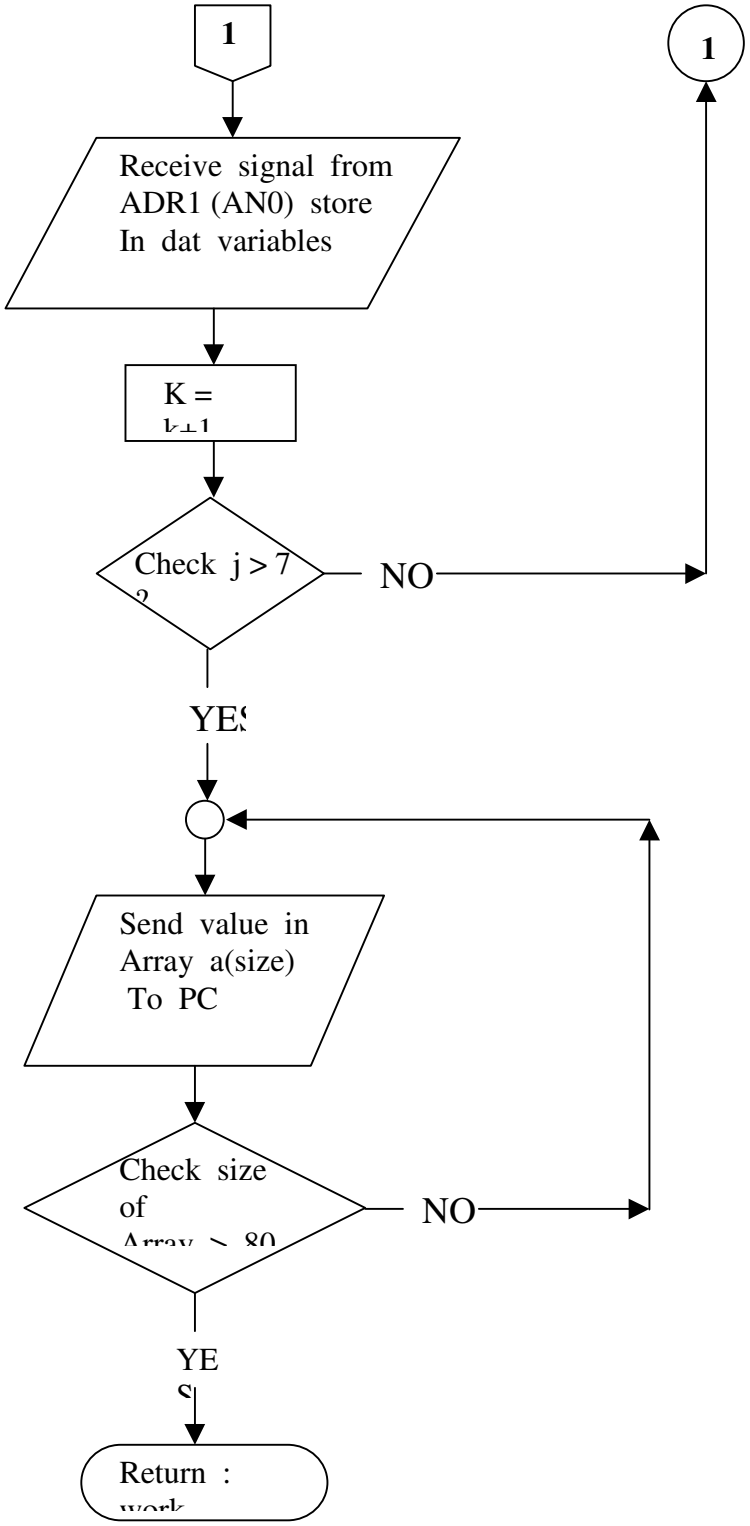


ภาพที่ 61 แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

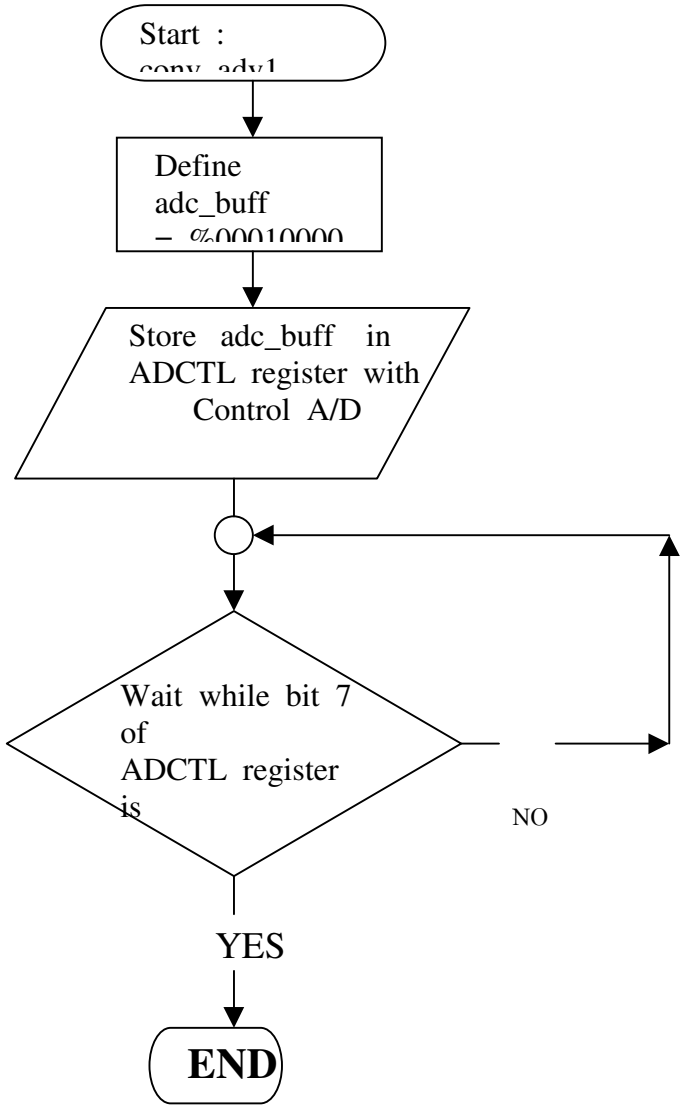
แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยส่วนเก็บข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลต่อไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ซึ่งประกอบด้วยการทำงานโดยรับข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในหน่วยความจำแบบอะเรย์ 80 ค่า หลังจากนั้นจึงส่งข้อมูลต่อไปประมวลผลต่อยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีแผนภูมิสายงานโปรแกรมดังต่อไปนี้


Start :
Define k , i = 0
Store i to port
Define j = 0
Store j to port
Define adc_buff = %10010011
Store adc_buff to OPTION Register with control system
Goto subroutine :
1
j = j+1
1

ภาพที่ 62 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยส่วนเก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปประมวลผลที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 62 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยส่วนเก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปประมวลผลที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (ต่อ)



ภาพที่ 63 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยแปลงสัญญาณข้อมูลจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

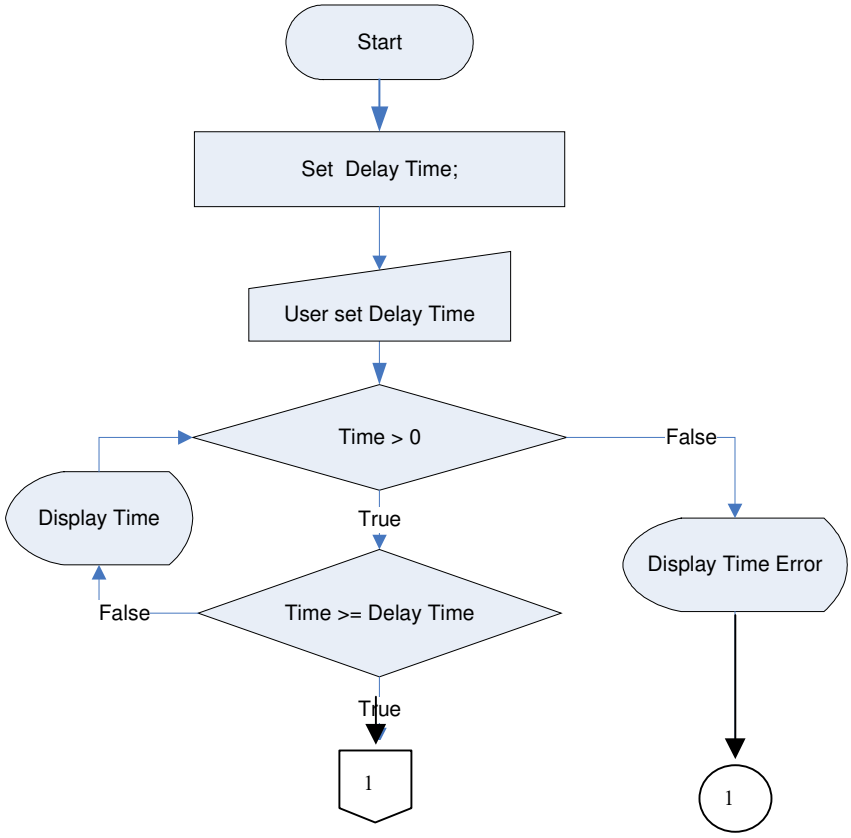
ตอนที่ 2 แผนภูมิของโปรแกรมสำหรับการรับและส่งข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ผลข้อมูล

แผนภูมิโปรแกรมนี้พัฒนาด้วย Matlab ทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อเชื่อมโยงกับชุดทดลองสนามไฟฟ้า คือ โปรแกรม filed.m ทำงานร่วมกับโปรแกรม sea.bas บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 มีรายละเอียดแผนภูมิโปรแกรมแยกได้เป็นสองส่วนย่อยดังนี้

แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ติดต่อกับส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และรับ- ส่งข้อมูล

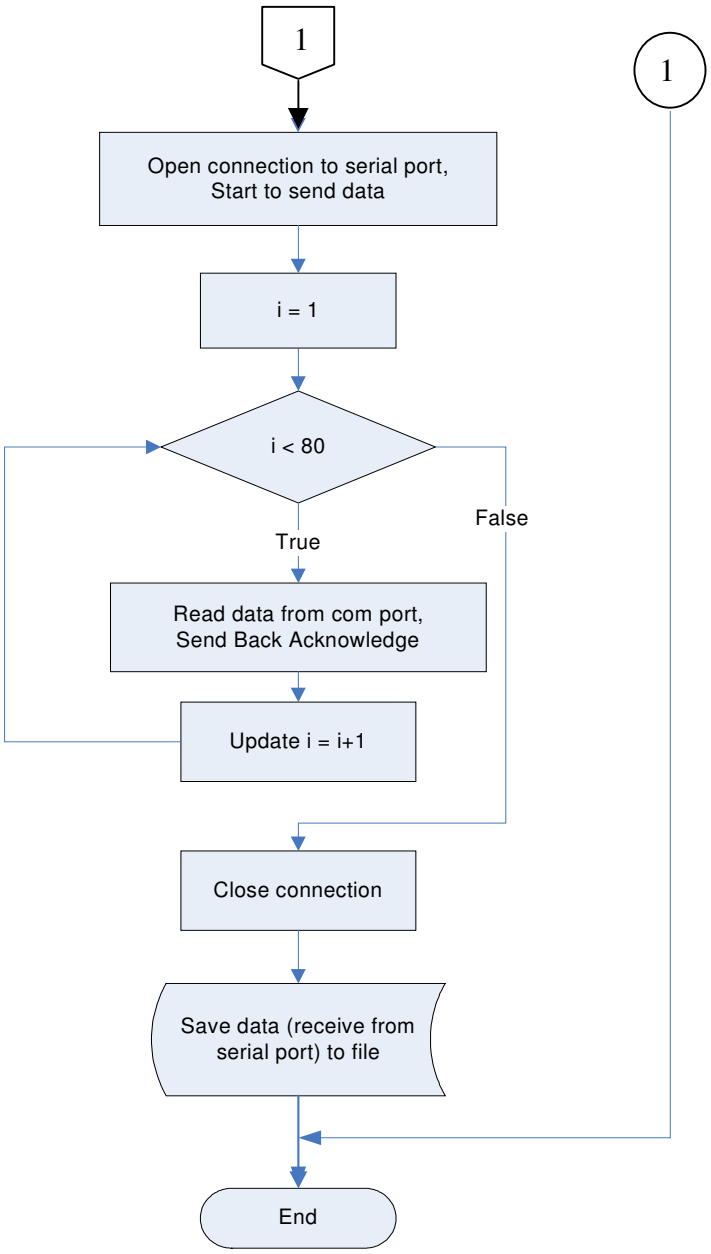
แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อตเส้นแรงไฟฟ้า

แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ติดต่อกับส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังต่อไปนี้



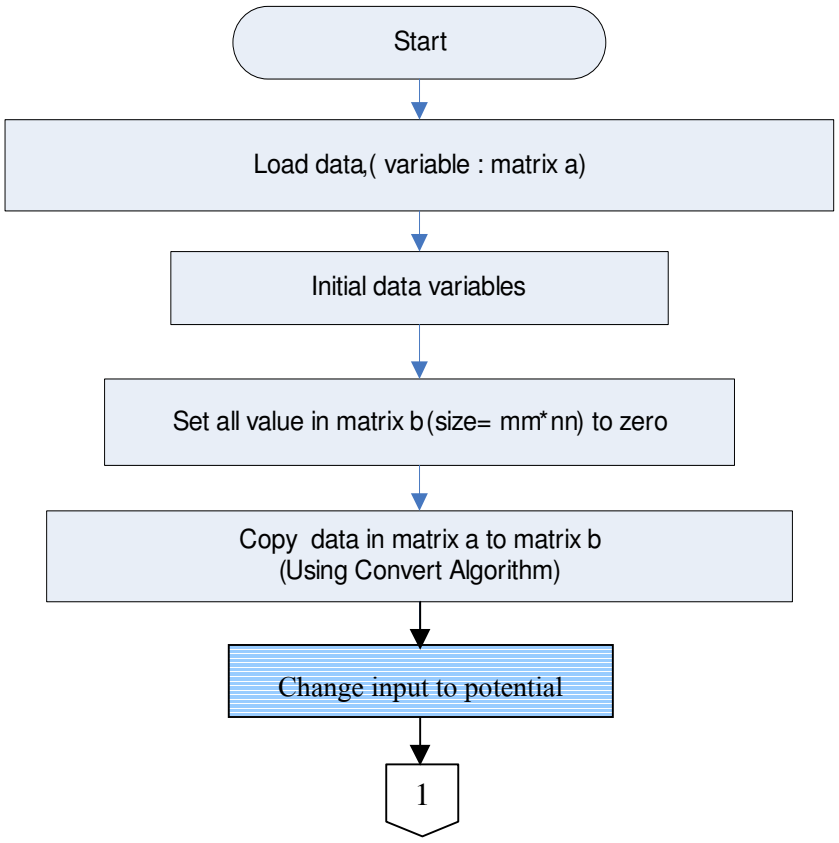
ภาพที่ 64 แผนภูมิโปรแกรมหลักส่วนที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ติดต่อกับส่วนบอร์ด

ไมโครคอนโทรลเลอร์

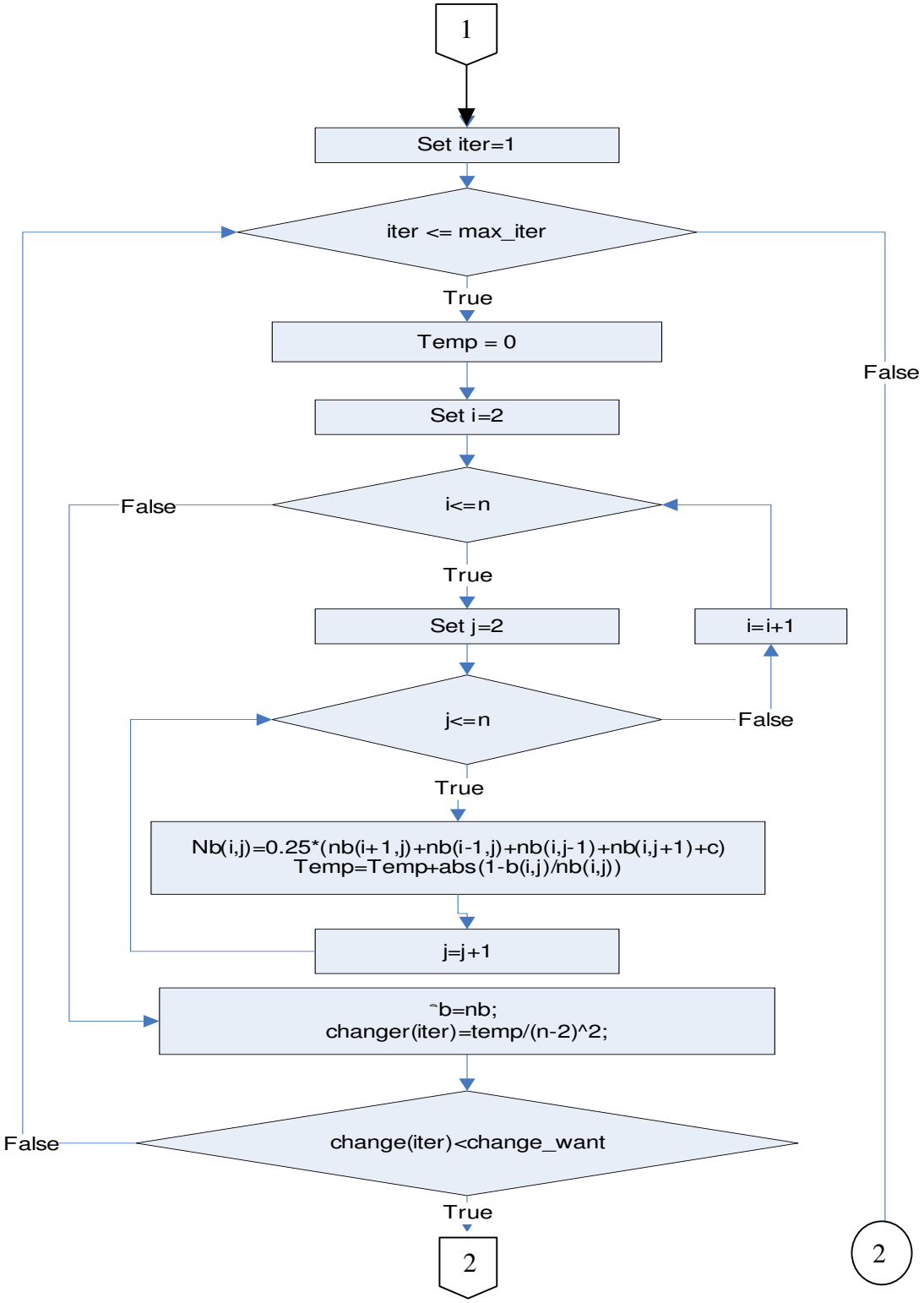


ภาพที่ 64 แผนภูมิโปรแกรมหลักส่วนที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ติดต่อกับส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

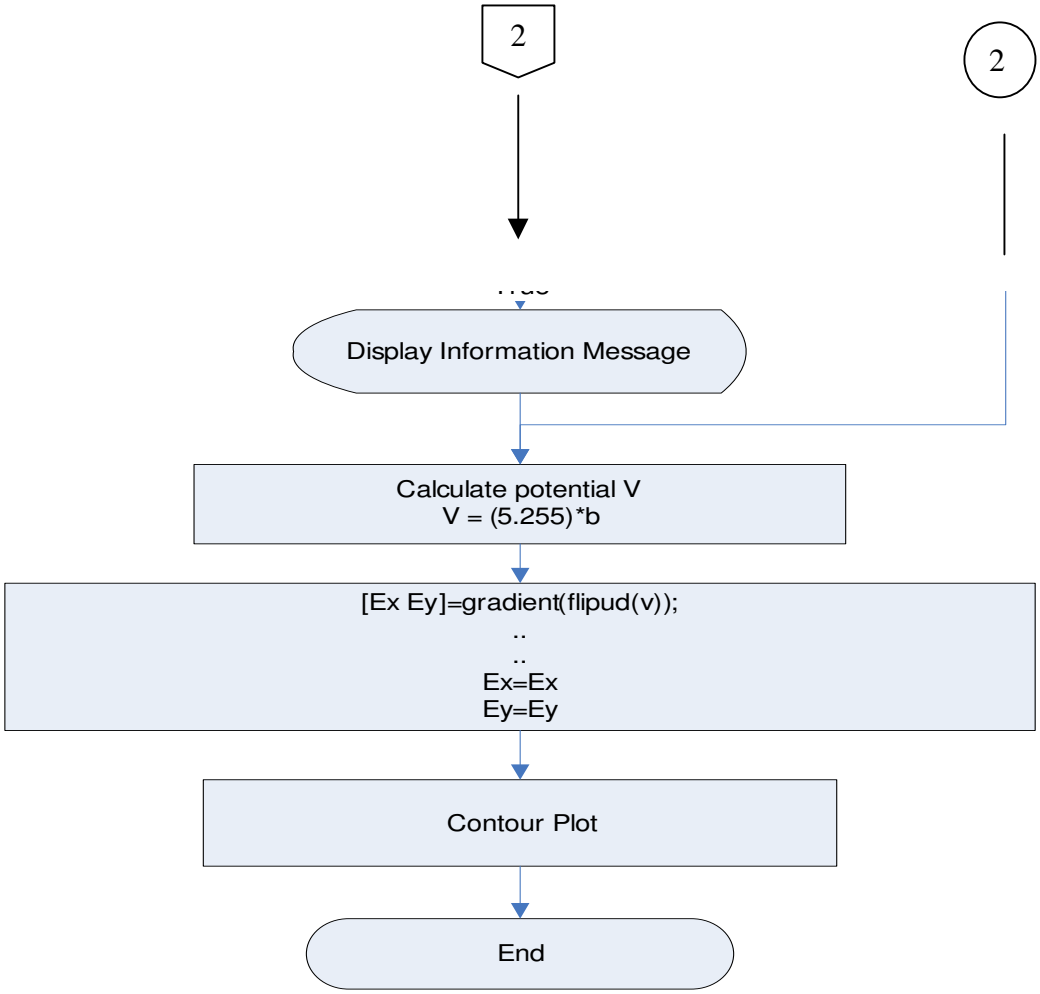
แผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อตเส้นแรงไฟฟ้า



ภาพที่ 65 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อตเส้นแรงไฟฟ้า


1
Set iter=1
iter <= max_iter
True
False
Temp = 0
Set i=2
i<=n
False
True
Set j=2
i=i+1
j<=n
False
True
Nb(i,j)=0.25*(nb(i+1,j)+nb(i-1,j)+nb(i,j-1)+nb(i,j+1)+c)
Temp=Temp+abs(1-b(i,j)/nb(i,j))
j=j+1
b=nb;
changer(iter)=temp/(n-2)^2;
change(iter)<change_want
False
True
2
2

ภาพที่ 65 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อตเส้นแรงไฟฟ้า(ต่อ)



ภาพที่ 65 แสดงแผนภูมิสายงานโปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อตเส้นแรงไฟฟ้า(ต่อ)

ภาคผนวก ค

โปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11

โปรแกรมนี้เขียนด้วยภาษา SBASIC สำหรับทำงานบนบอร์ดไมโคร-คอนโทรลเลอร์ของ 68HC11 เพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์สำหรับชุดทดลองสนามไฟฟ้า ทำงานร่วมกับโปรแกรม field.m โดยการรับและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในหน่วยความจำแบบอะเรย์ทั้งหมด 80 ค่า และส่งข้อมูลต่อไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ทำงานโดยการกดปุ่ม RESET ครั้งเดียว หลังจากนั้นจะรับและส่งข้อมูลต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

```
' this program is get data in array (1 loop 80 data)
' use multiplexer 4067(16-1) 1 pieces  and 4051(8-1) 10 pieces
' 3 september 1999  this program  want continous to loop but one push Reset button
include "regs11.lib "
const jsize = 80
declare adc_buff
declare i
declare p
declare j
declare t
declare dat
```

```
declare d
declare k
declare a(jsize)

conv_adc1:
adc_buff = %00010000
pokeb adctl,adc_buff
waitwhile adctl,$80      'wait CCF input data finish
return


work:
k = 0
  for i = 0 to 9             ' 4067 select 4051 (10 pieces)
    pokeb portc,i
    for j = 0 to 7           ' 4051 select channal 0-7 by Pb
       pokeb portb,j
       adc_buff = %10010011
       pokeb option,adc_buff
       gosub conv_adc1
       d = 0
       do while d<50
           d = d+1
       loop
       dat = peekb(adr1)    'use AN0
       a(k)  = dat
       k = k+1
    next
  next
```

```
  for k = 0 to jsize-1
'     outch a(k)
      printu a(k)
      do
       t = inkey()
     loop while t=0
  next

return

main:
pokeb baud,$30
pokeb sccr2,$0c
pokeb DDRC,255                ' use portC is output port

do
    p = inkey()
loop while p=0       ' wait  for PC
gosub work

   do
      t = inkey()
   loop while t=0        ' wait   from PC

end
```

ภาคผนวก ง

โปรแกรมควบคุมการรับ - ส่ง และประมวลผลข้อมูล

โปรแกรมนี้เขียนด้วยโปรแกรม Matlab โดยแยกออกเป็น 2 โปรแกรม คือ โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูล และโปรแกรมอ่าน ประมวลผลข้อมูล และพลอตกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ซึ่งทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการรับ , ส่งและประมวลผลข้อมูล โปรแกรมประกอบด้วยเมนูย่อยสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นสองส่วนดังนี้คือ ส่วนที่ติดต่อกับร่วมกับฮาร์ดแวร์ซึ่งทำงานร่วมกับโปรแกรม sea.bas และส่วนที่ประมวลผลข้อมูลสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการเก็บข้อมูล โดยแสดงผลเป็นกราฟของเส้นสมศักย์ไฟฟ้า

โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูล

```
%% filed.m %%
%% Modify from POIS11 to put in delay time
%% 26 APR 04
clear;
N=20;
m=20;n=20;

%Start linking with comport
tt =input('Put in delay time','s');
t=str2num(tt);
      tic
        while(1)
                  time = toc;
                    if (time>=t)
                      s=serial('com1');
                     fopen(s);
```

```
                    fwrite(s,'2'); %send start  disp('tee');
                    for i=1:80
                     a(i)=fscanf(s,'%d');
                     fwrite(s,'0');
                    end
                fclose(s)
            break;
                 else
             time
                     end
        end
d=input('Save data ? (y/n) ','s');
if (d == 'y')
   f = input('put in filename ','s');
   save(f,'a');
end
```

โปรแกรมอ่านข้อมูล ประมวลผล และพล็อตกราฟเส้นแรงไฟฟ้า

```
%% read.m %%
%Poisson1 (created Aug6,2003), adding a constant to the right hand side
% should work with sea.bas
%May 29,2003. First try on reading data from com port
%obtain Laplaced data from c
%%% To read data from file and display
clf;
clear;
% Read data
f = input('put in filename','s'); %!!!
cd = input('put in c (0.--1)','s');
```

```
c=str2num(cd);
load (f);  % !!!!
N=20;
m=20;n=20;
mm=m+1;nn=n+1;
change_want=1e-4;
max_iter=n^2;
L=1;              % system size
h=L/(N-1);      % grid spacing
change_want=1e-5;  % stop when the change is given fraction
coeff=pi/L;
x=1:mm;   % x coordinate
y=1:nn;   % y coordinate
% Clear all b(i,j)
%nn=n+1;
%mm=m+1;
for i=1:mm
   for j=1:nn
      b(i,j)=0;
   end
end
%convert a(k) >> b(i,j)
k=1;
for j=1:21
   b(21,j)=a(k); % last column
   k=k+1;
end
for i=20:-1:1
   b(i,21)=a(k); % last row
   k=k+1;
```

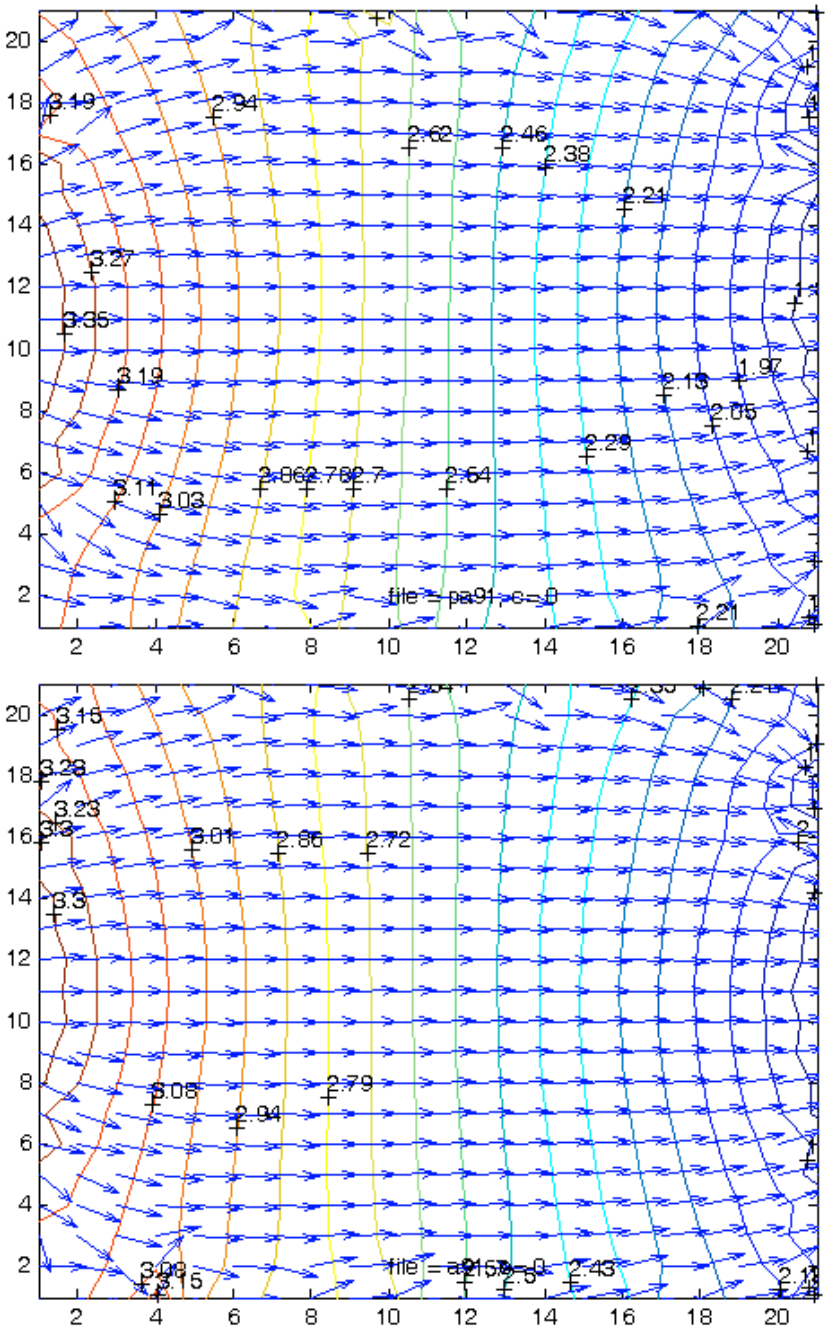
```
end
for j=20:-1:1
   b(1,j)=a(k); %first column
   k=k+1;
end
for i=2:20
   b(i,1)=a(k); % first row
   k=k+1;
end
%stop
vb=(5/255)*b;  %potential on the boundary
nb=b;
bb=b; %save b for later use
%c=1% Can be changed from 0.00 to 1.00
for iter=1:max_iter
   temp=0;
   for i=2:n %changed fron n-1
      for j=2:n % same here
         nb(i,j)=.25*(nb(i+1,j)+nb(i-1,j)+nb(i,j-1)+nb(i,j+1)+c);
         temp=temp+abs(1-b(i,j)/nb(i,j));
      end
   end
   b=nb;
   change(iter)=temp/(n-2)^2;
   if(change(iter) < change_want)
      disp('Desired accuracy achieved; breaking out of loop');
      break;
   end
end
%stop
```

```
%calculate potential v
v=(5/255)*b;
%v=rot90(v); % !!?? this makes the position o.k.
[Ex Ey]=gradient(flipud(v));
temp=sqrt(Ex.^2+Ey.^2);
Ex=-Ex./temp;
Ey=-Ey./temp;
Ex=Ex;
Ey=Ey;
axis square
%subplot(121)
cs=contour(x,y,flipud(v),20);% New !!
%cs=contour(x,y,rot90(v),20);
hold
%subplot(122)
[xmax ymax]=size(Ex);
%axis([0 xmax+1 0 ymax+1]);
%pause;
quiver(x,y,Ex,Ey);%New !!
%pause;
clabel(cs);
text(10,2,['file = ',f,', c= ',cd]);
hold off
%subplot(111)
%axis;axis('normal');
for i=1:mm
   for j=1:nn
      fprintf('%3.2f  ',v(i,j))
   end
   fprintf('\n')
```

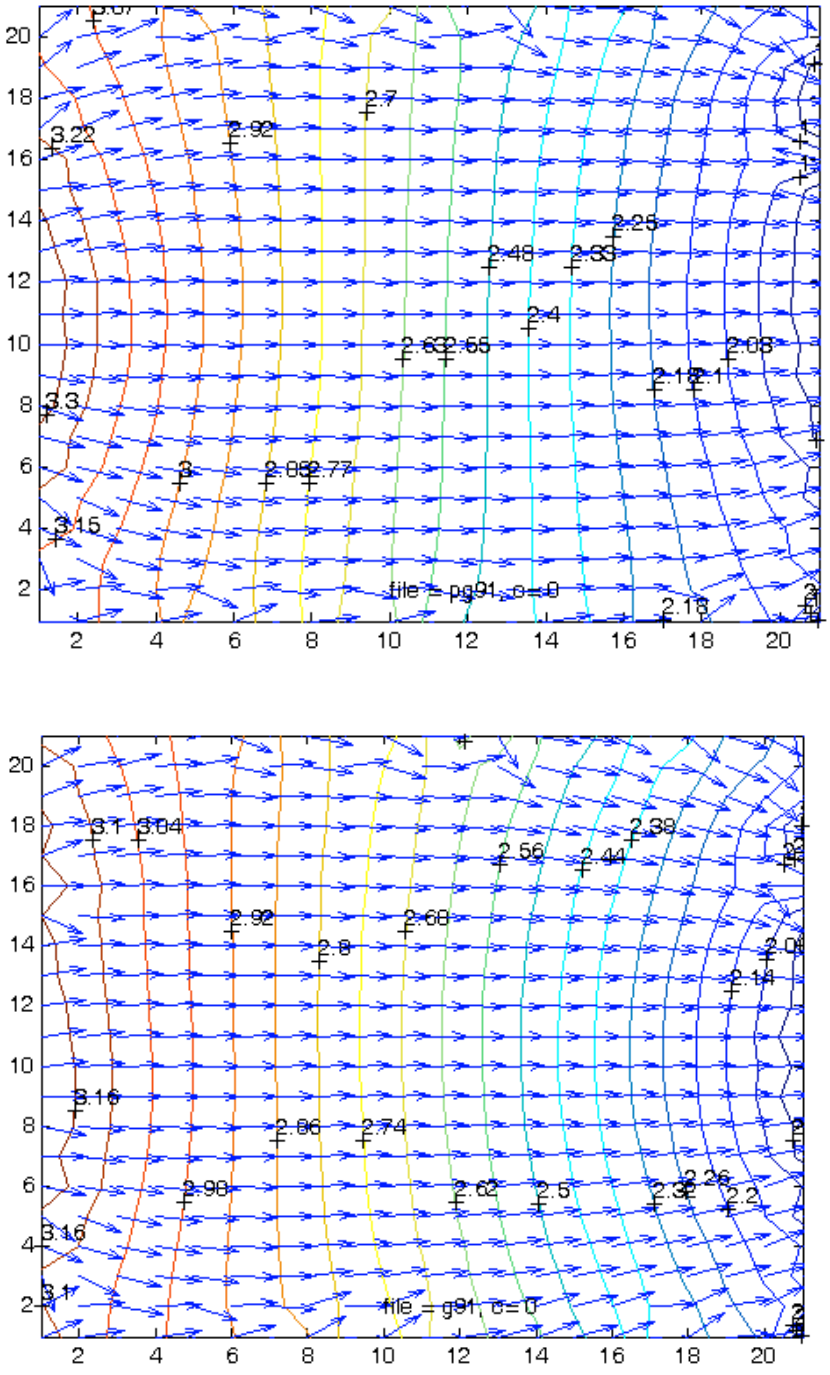
ภาคผนวก จ

ผลการทดลอง การหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์

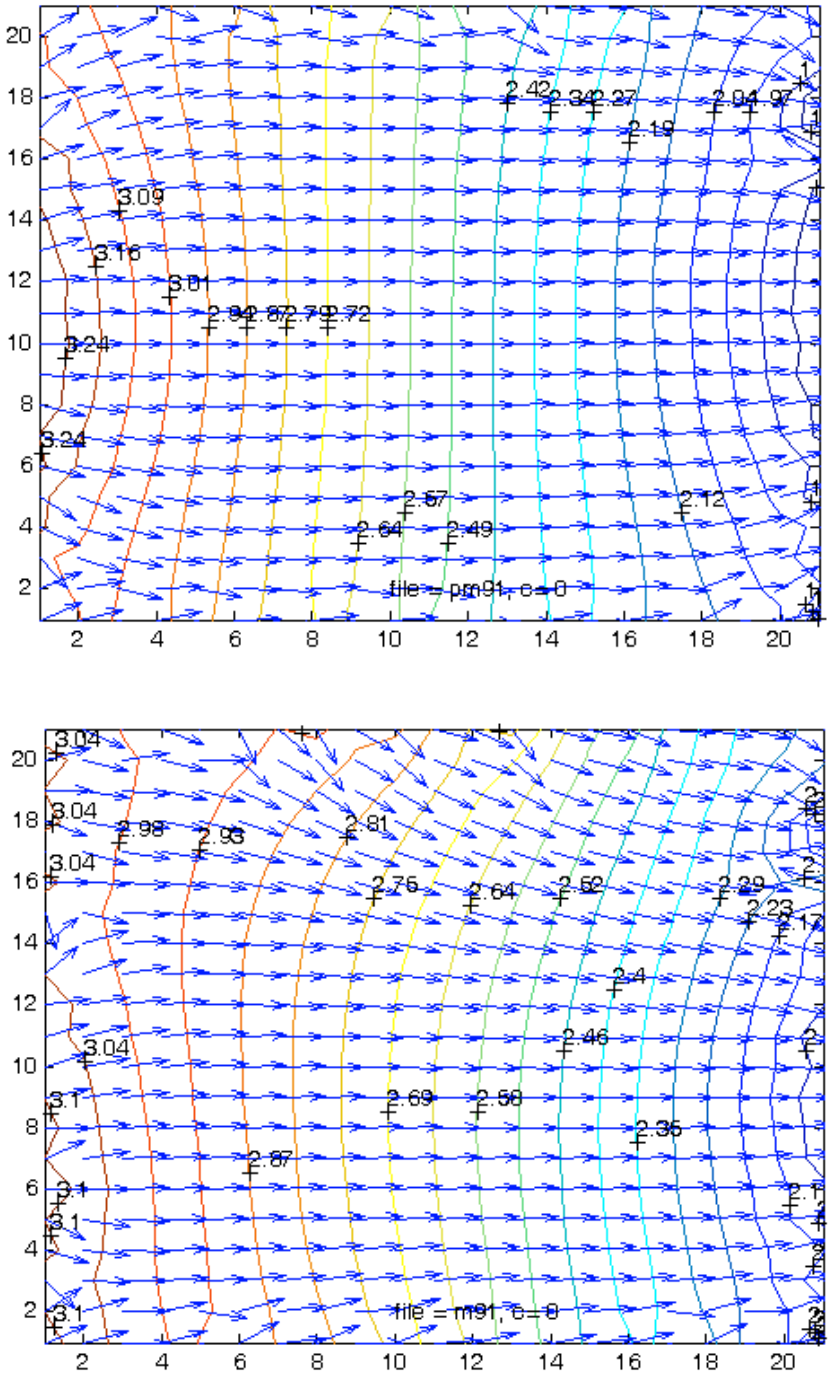
ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ



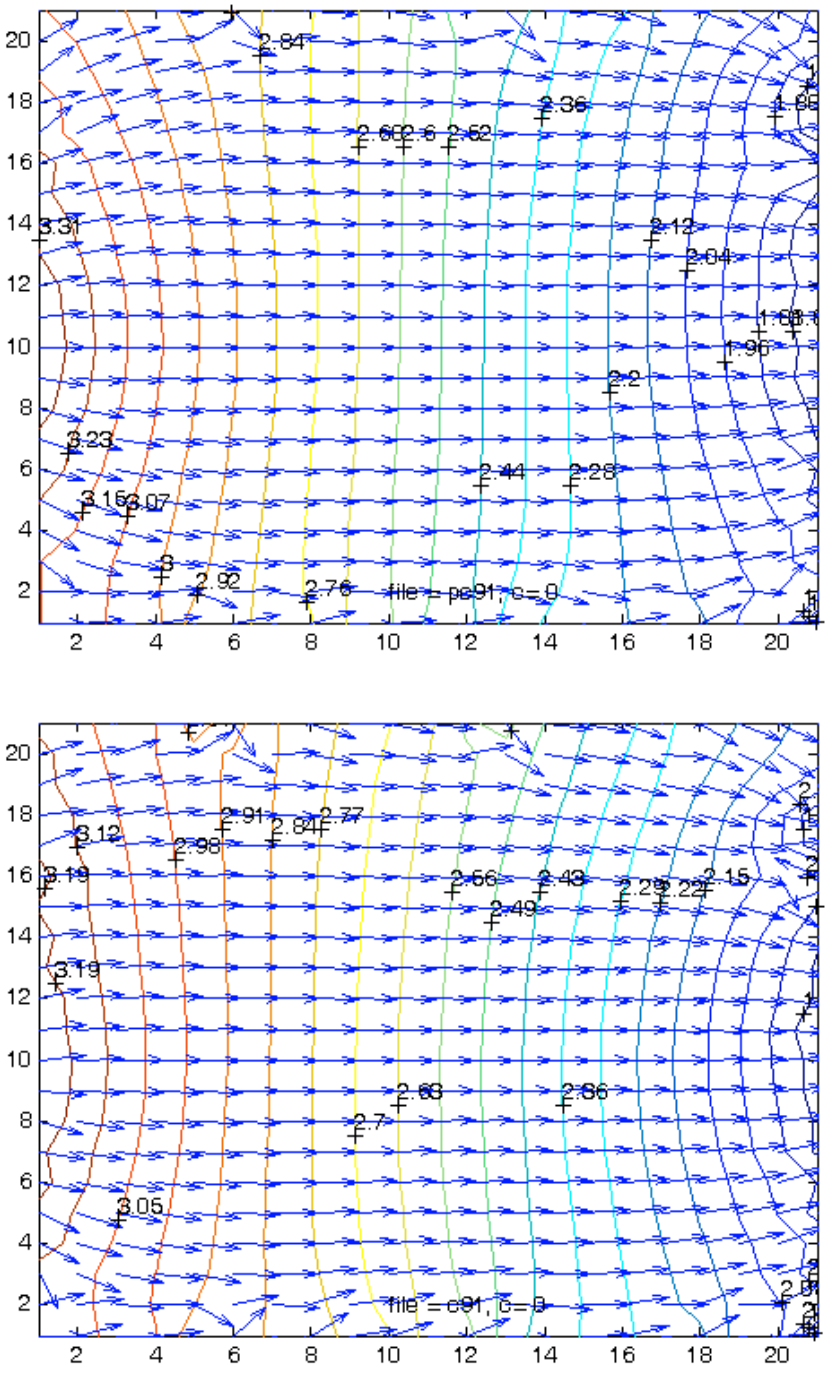
ภาพที่ 66 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.



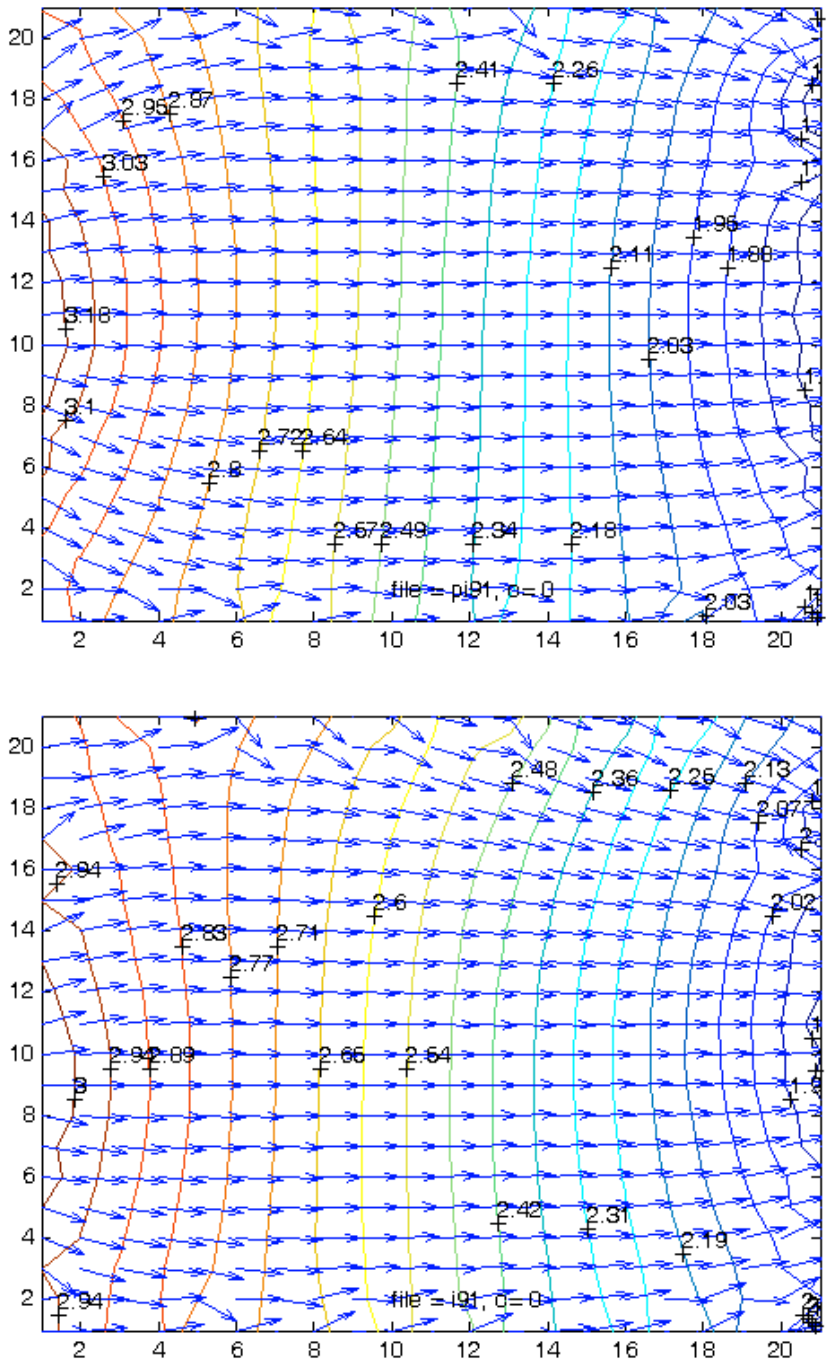
ภาพที่ 67 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.



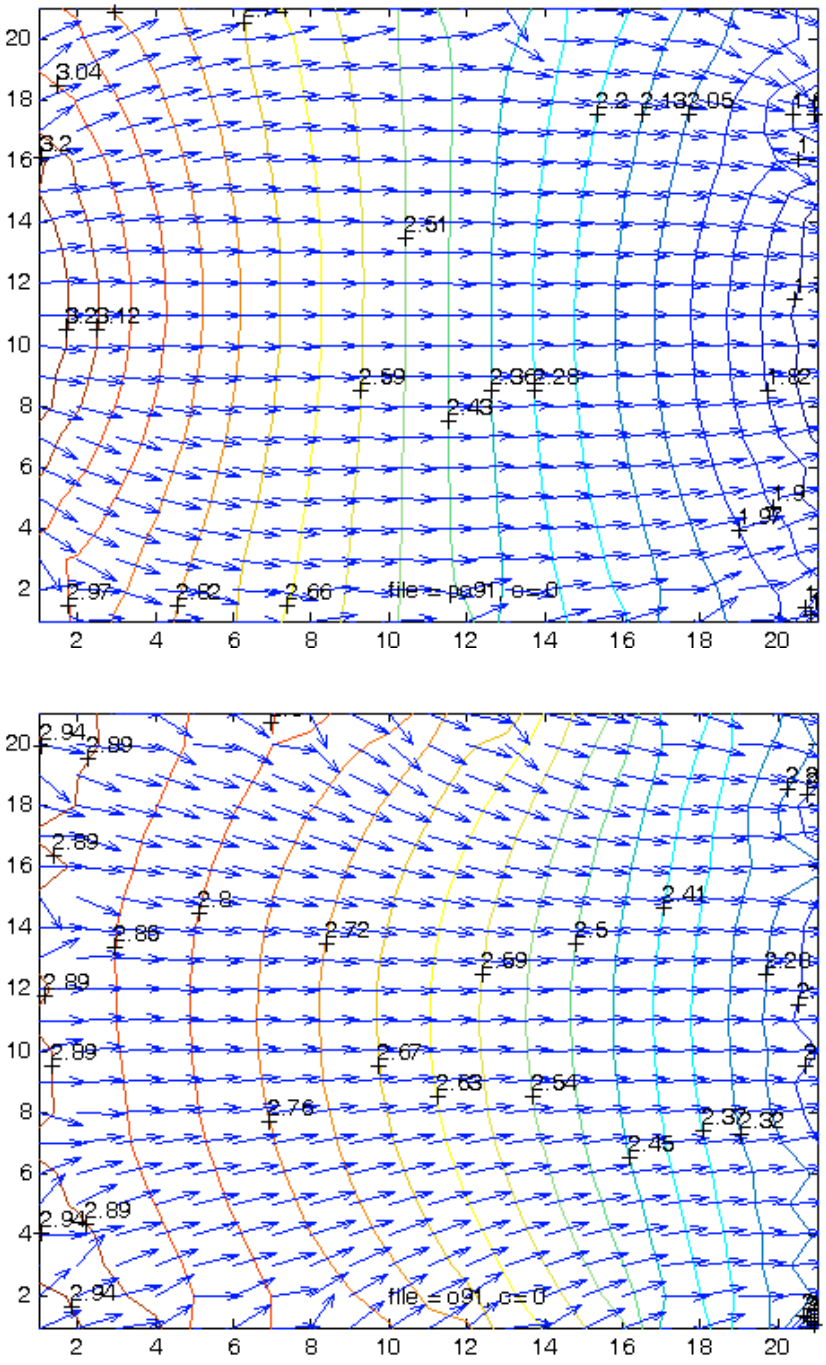
ภาพที่ 68 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.



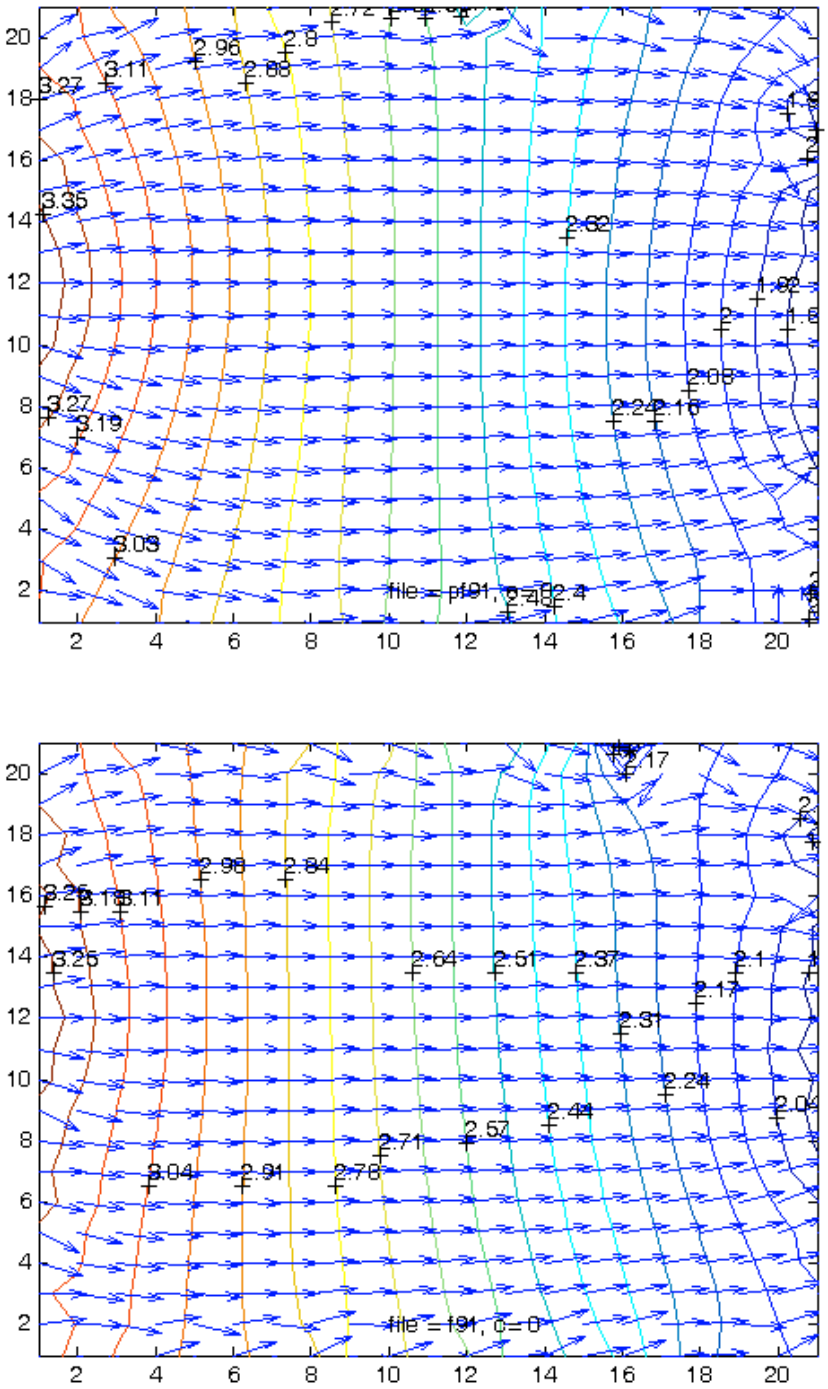
ภาพที่ 69 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.



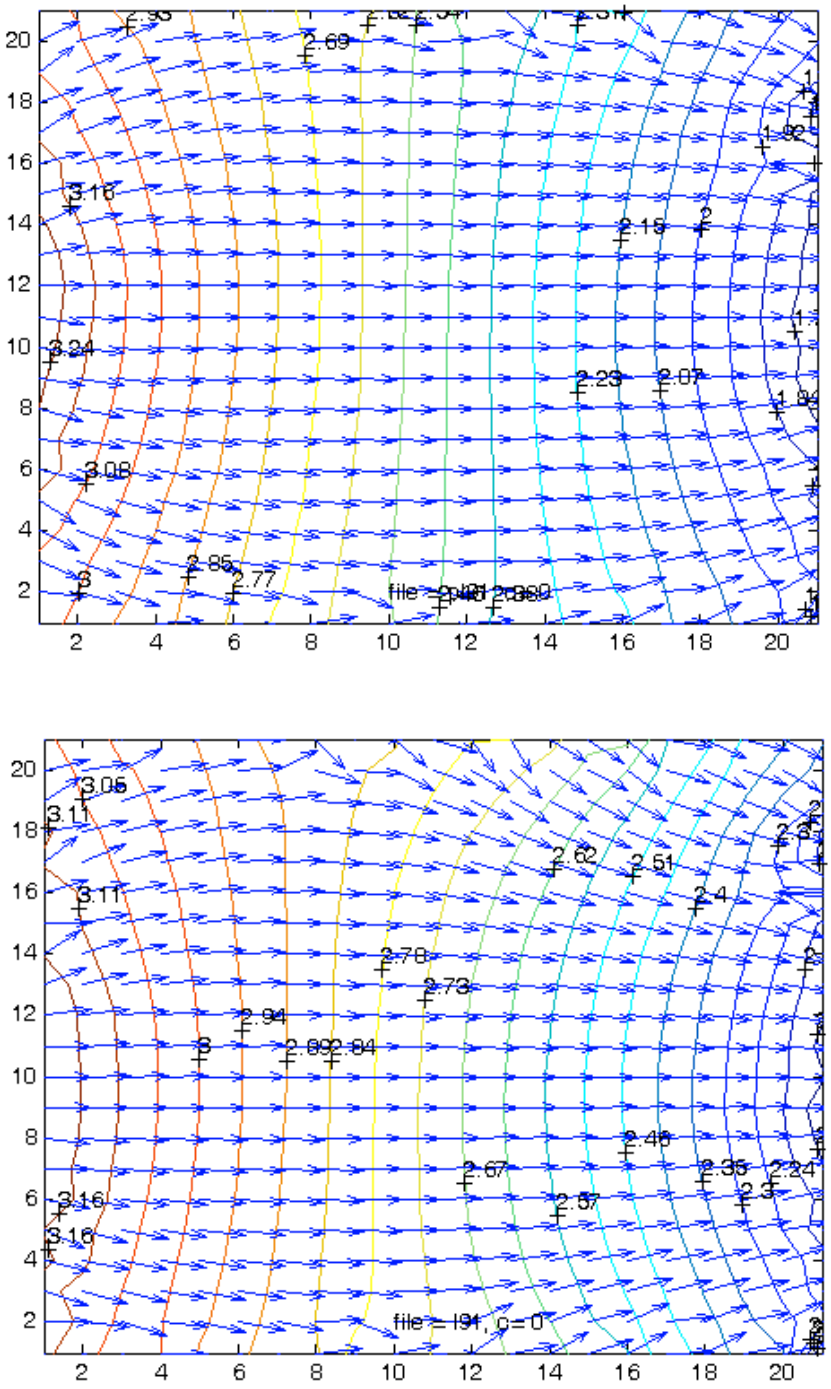
ภาพที่ 70 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.



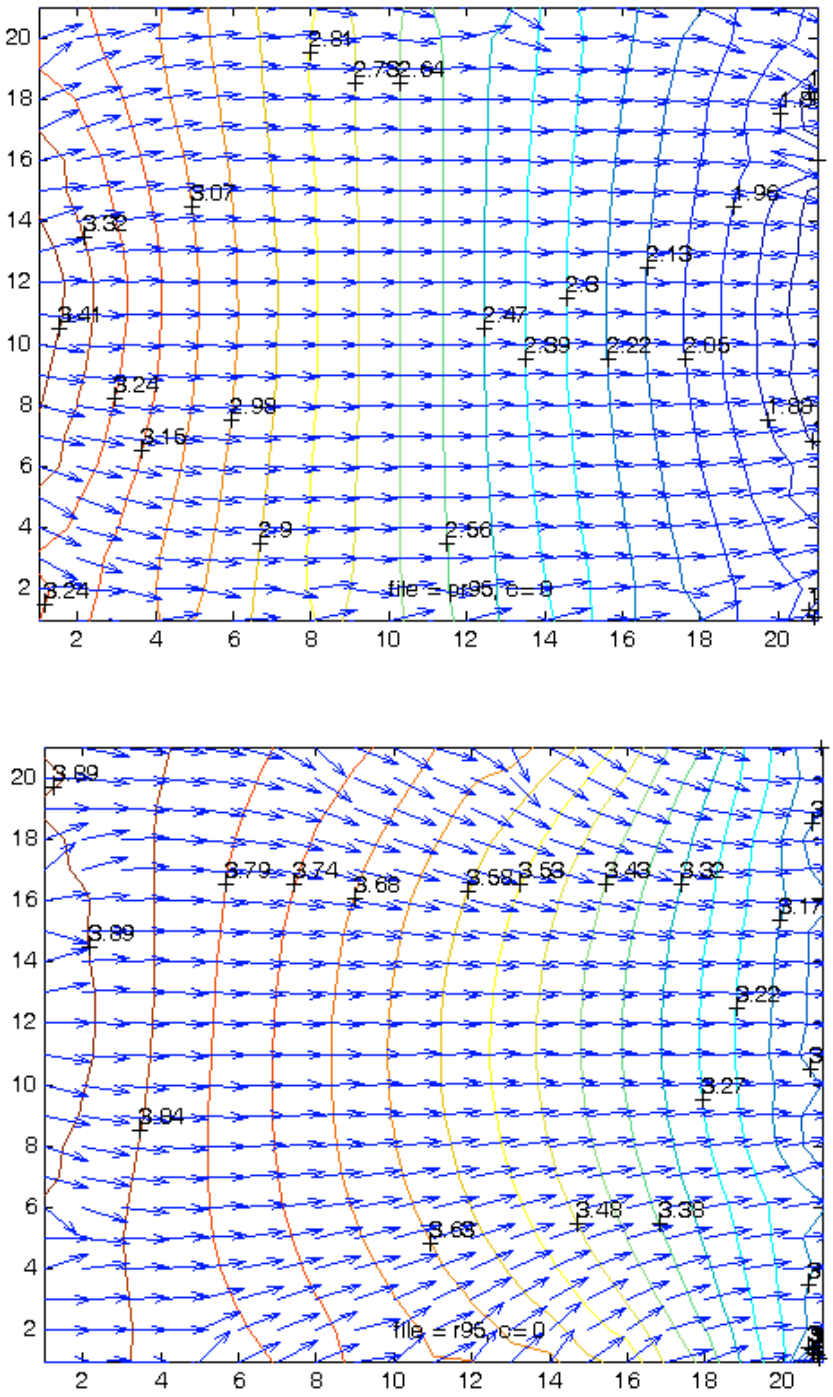
ภาพที่ 71 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.



ภาพที่ 72 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.



ภาพที่ 73 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.

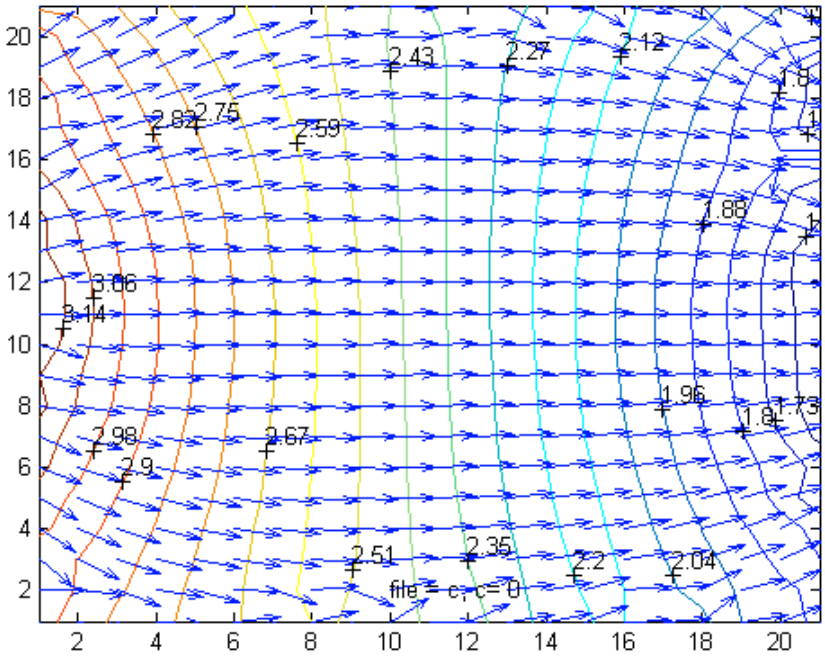


ภาพที่ 74 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.

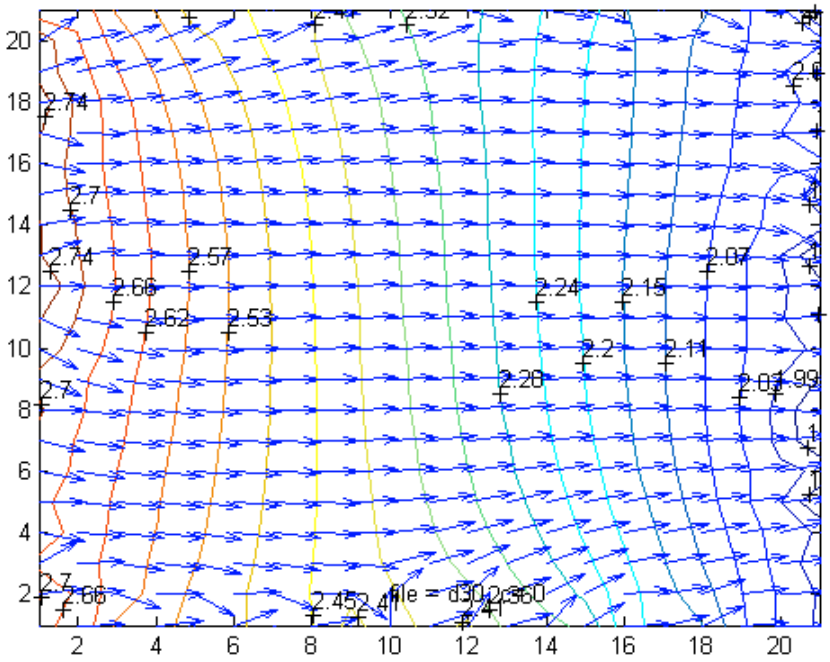
ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลอง การหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์
โดยใช้ความเข้มข้น 1.0 M. ที่ตำแหน่งต่างๆกัน

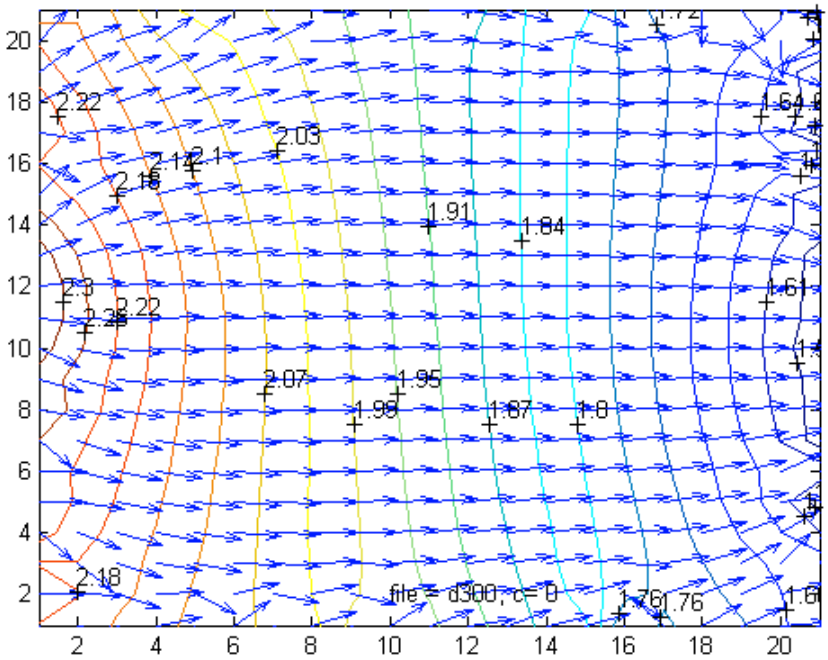
1. การทดลองหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ



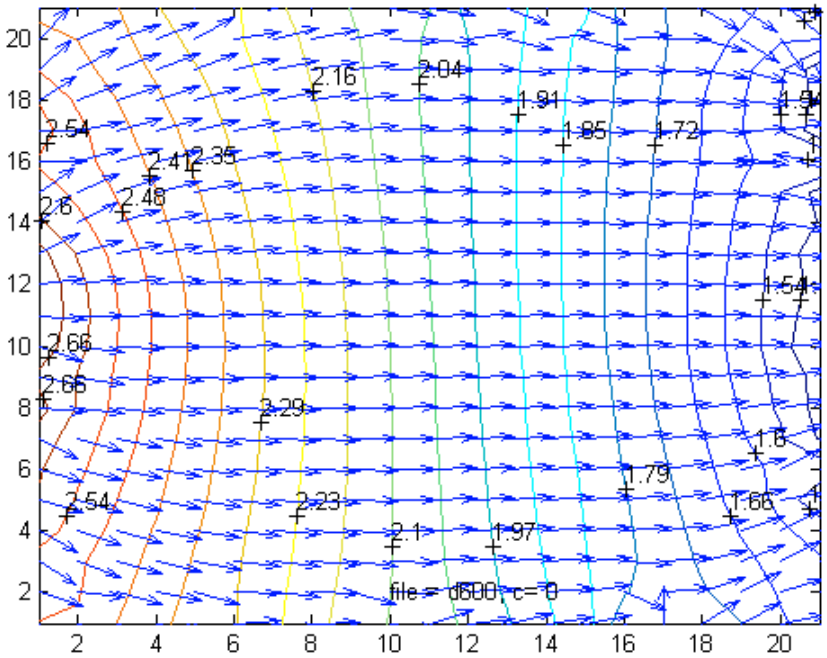
ภาพที่ 75 แสดงกราฟของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ



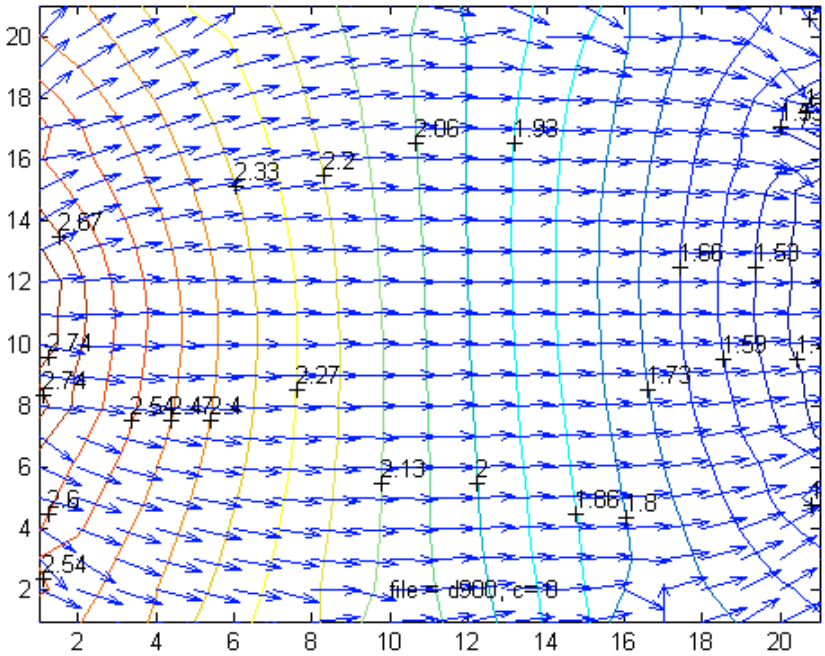
ภาพที่ 76 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที



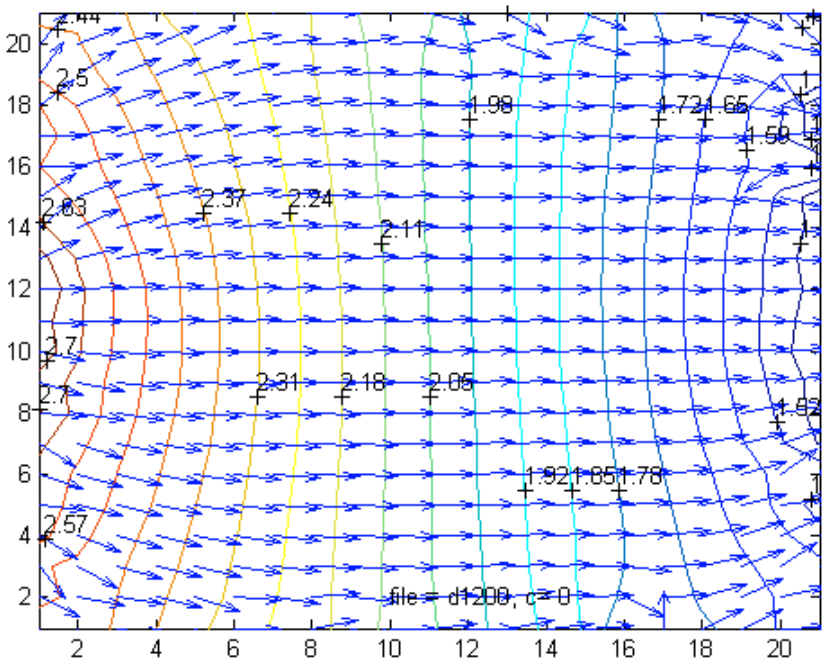
ภาพที่ 77 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที



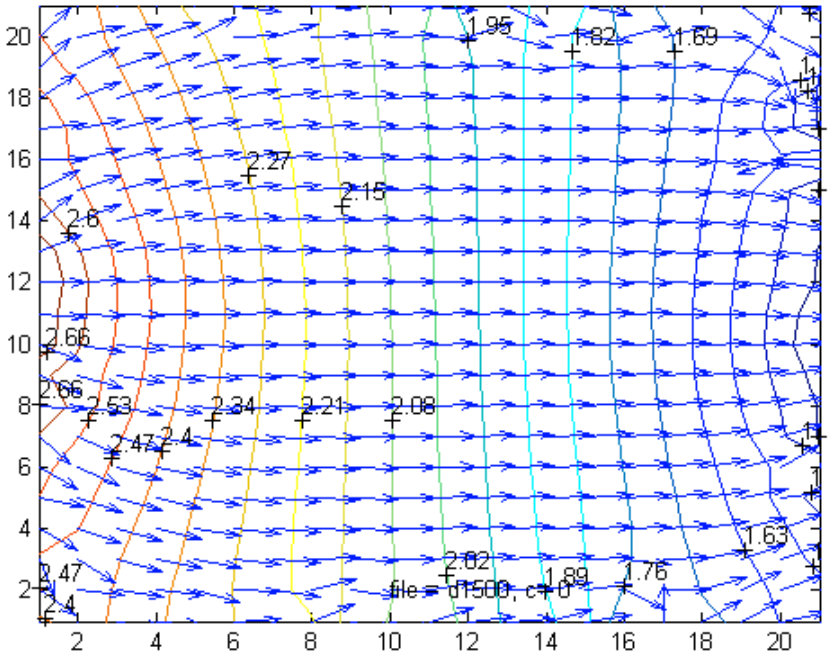
ภาพที่ 78 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 600 วินาที



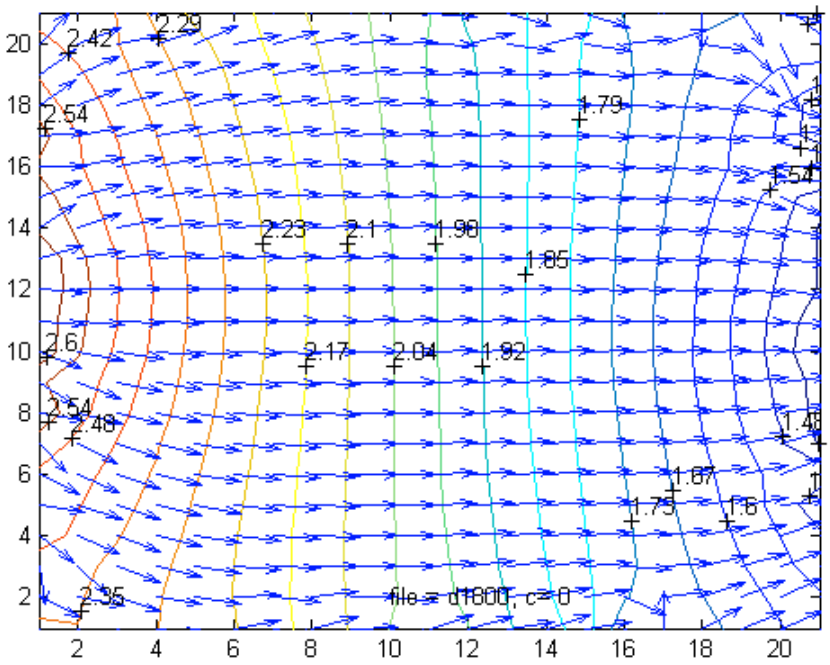
ภาพที่ 79 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 900 วินาที



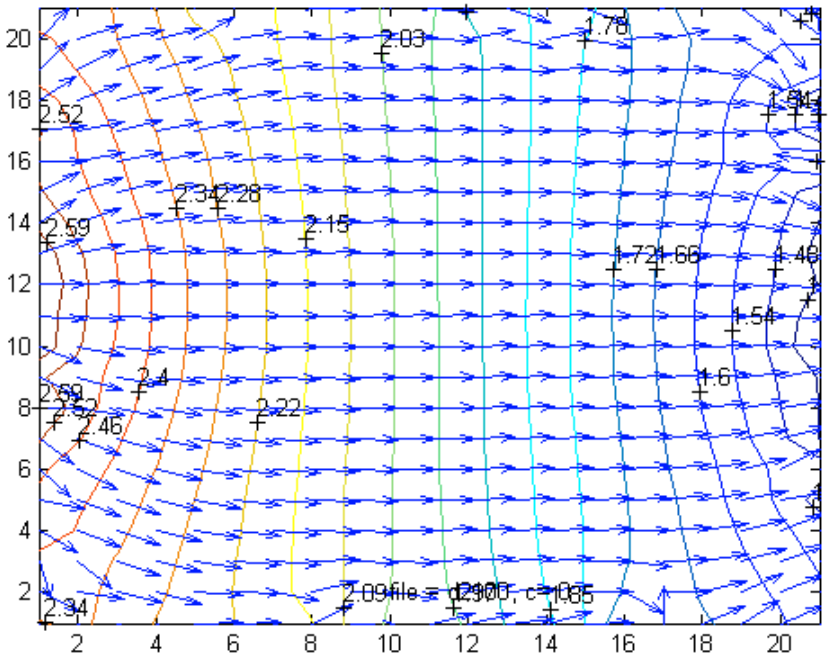
ภาพที่ 80 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1200 วินาที



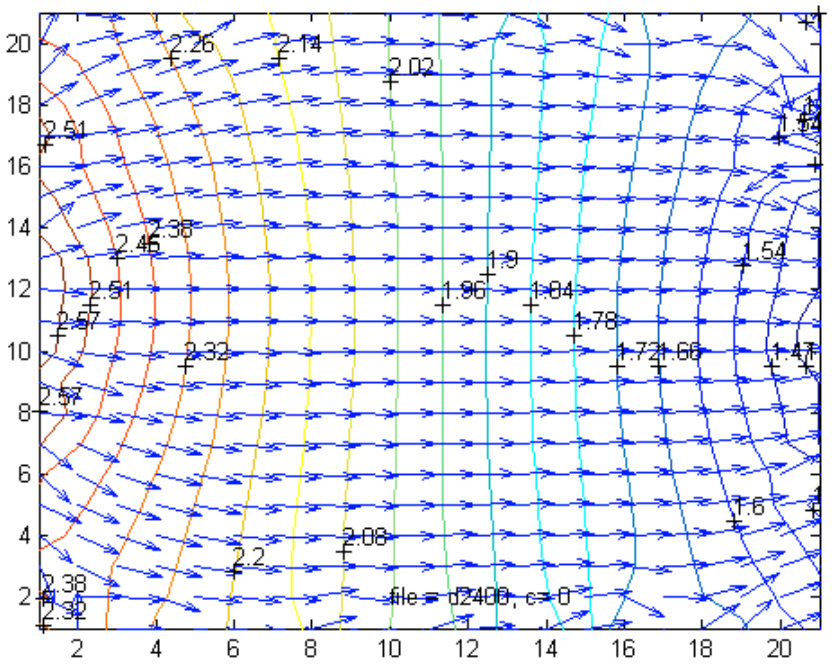
ภาพที่ 81 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1500 วินาที



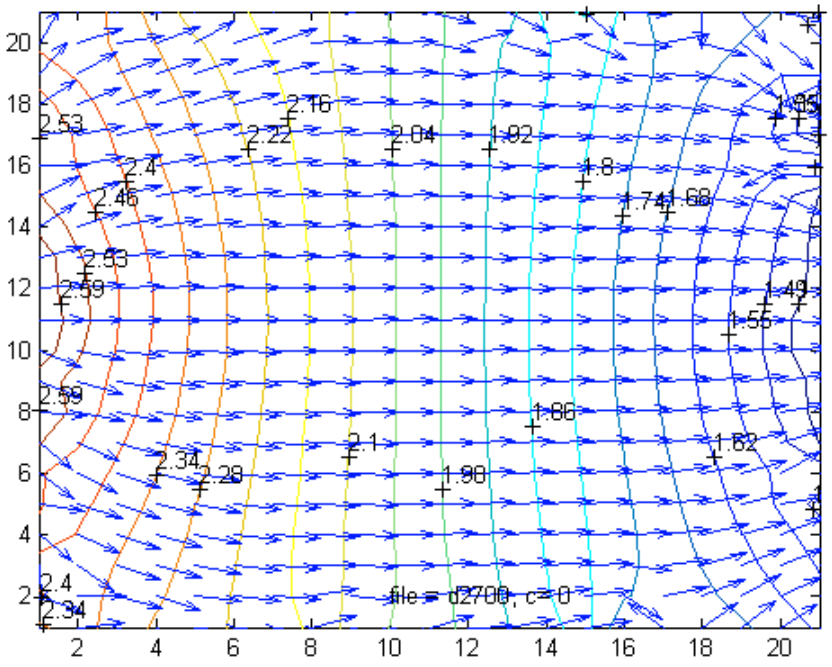
ภาพที่ 82 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1800 วินาที



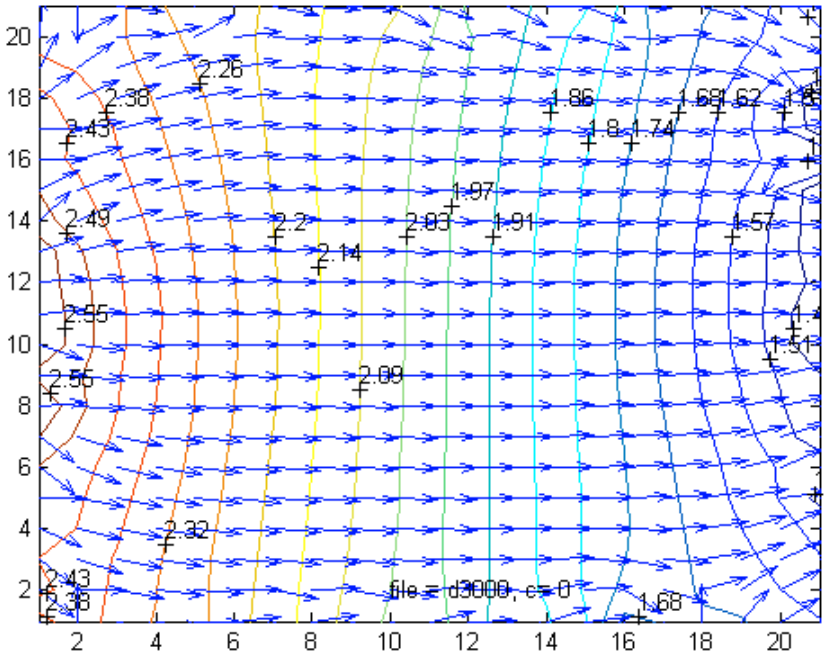
ภาพที่ 83 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 2100 วินาที



ภาพที่ 84 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 2400 วินาที

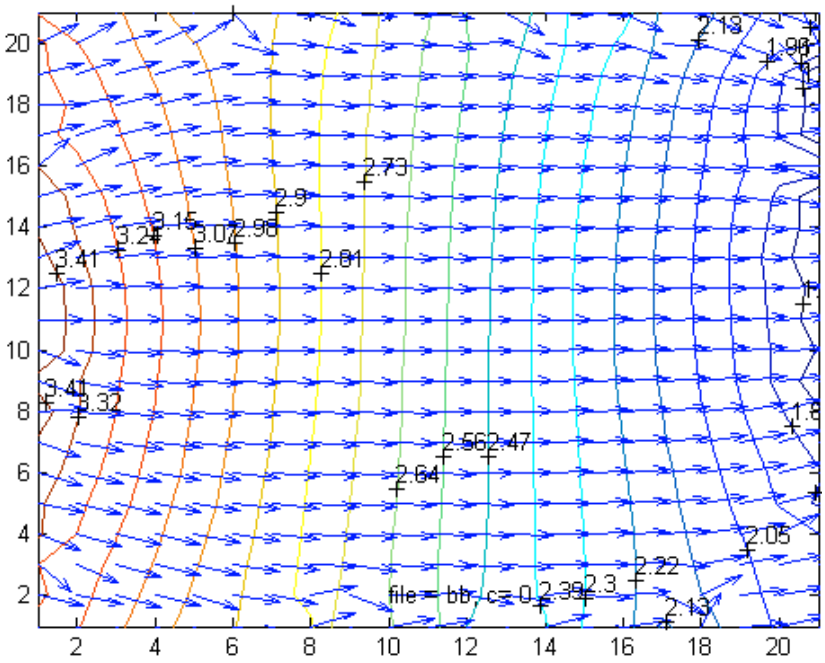


ภาพที่ 85 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 2700 วินาที

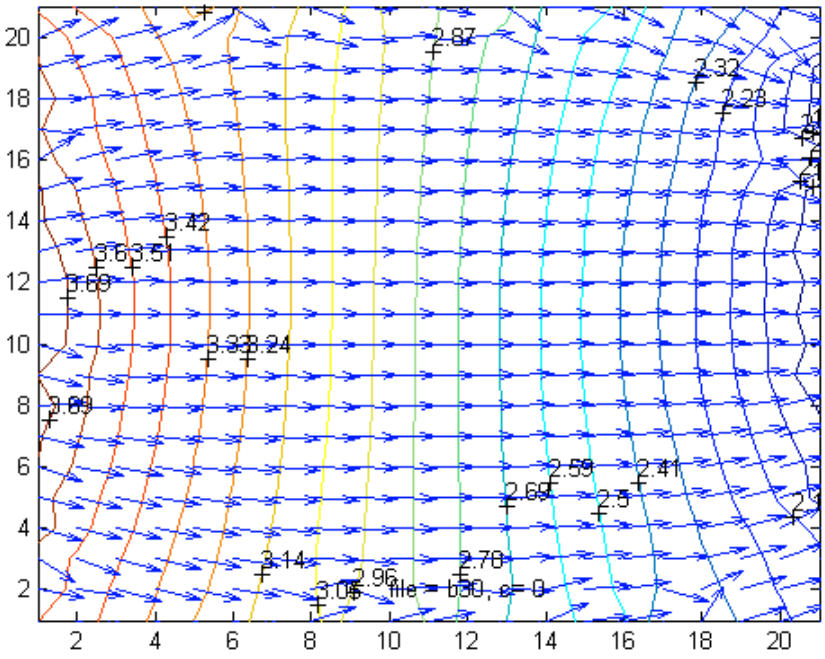


ภาพที่ 86 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 3000 วินาที

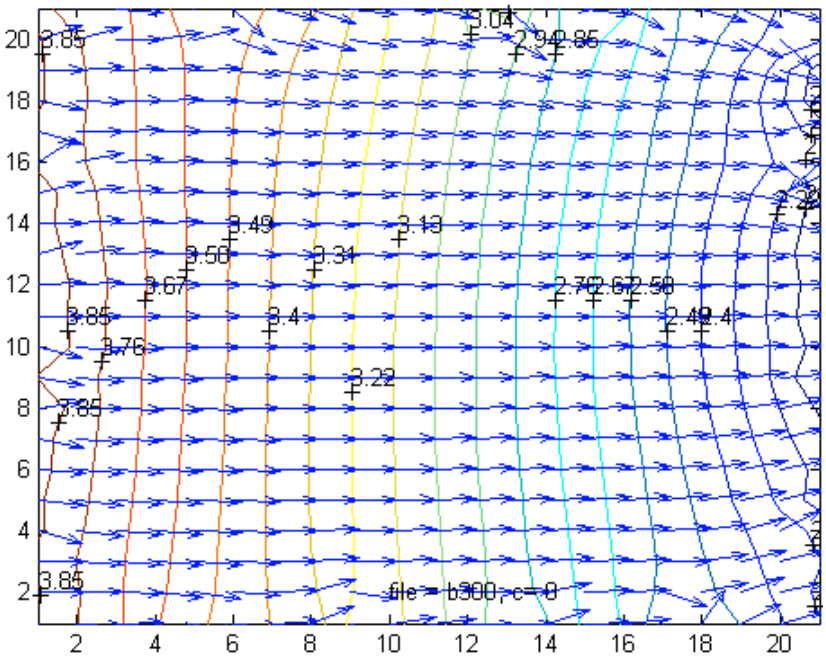
2. การทดลองหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก



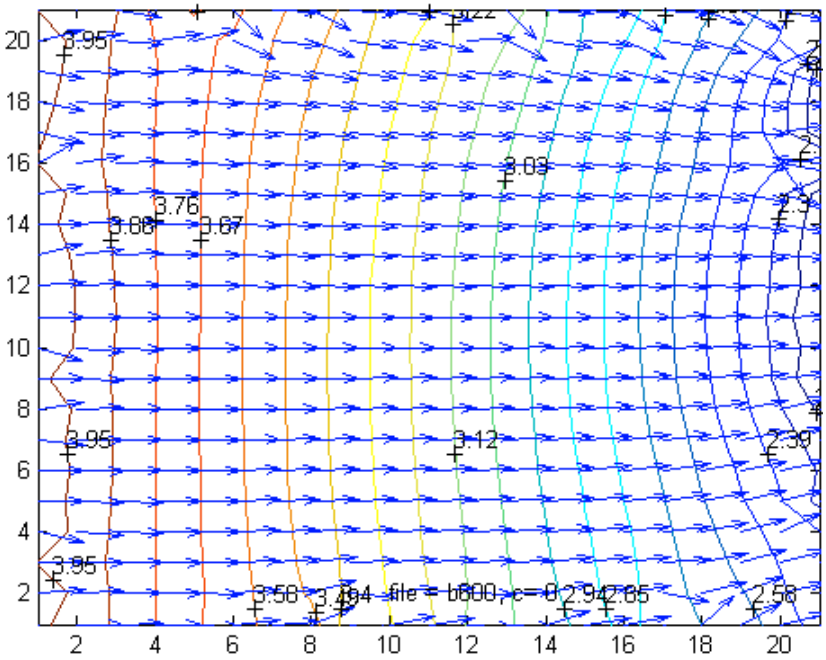
ภาพที่ 87 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก



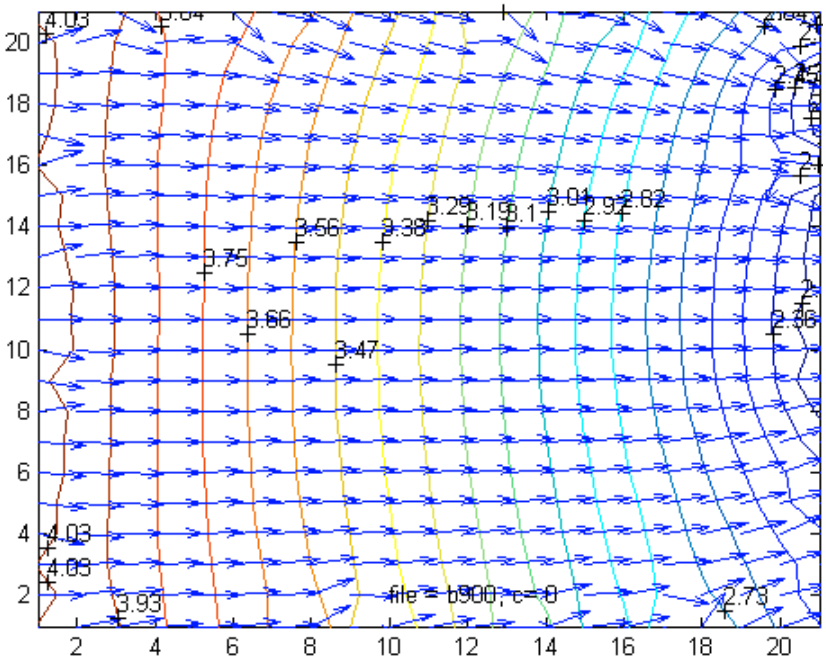
ภาพที่ 88 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 30 วินาที



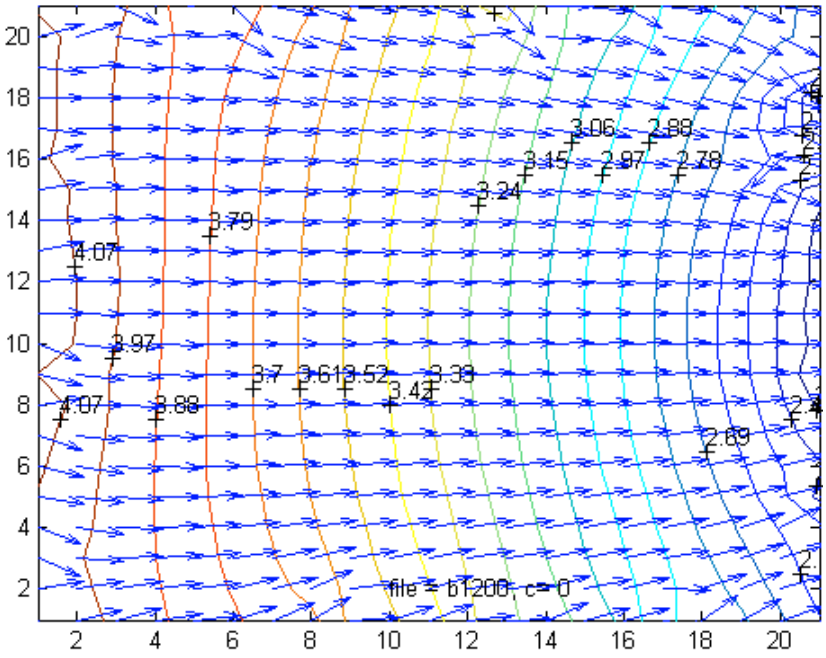
ภาพที่ 89 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 300 วินาที



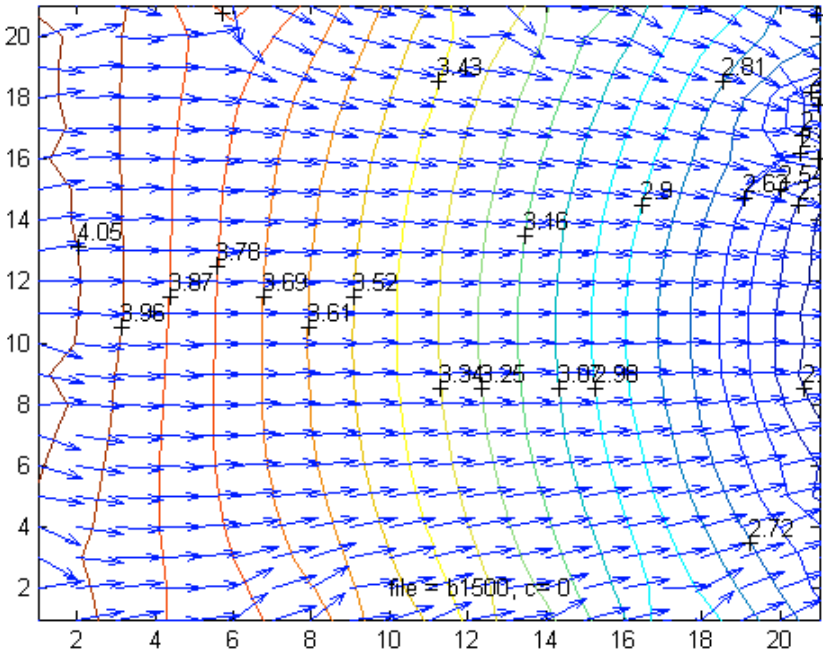
ภาพที่ 90 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 600 วินาที



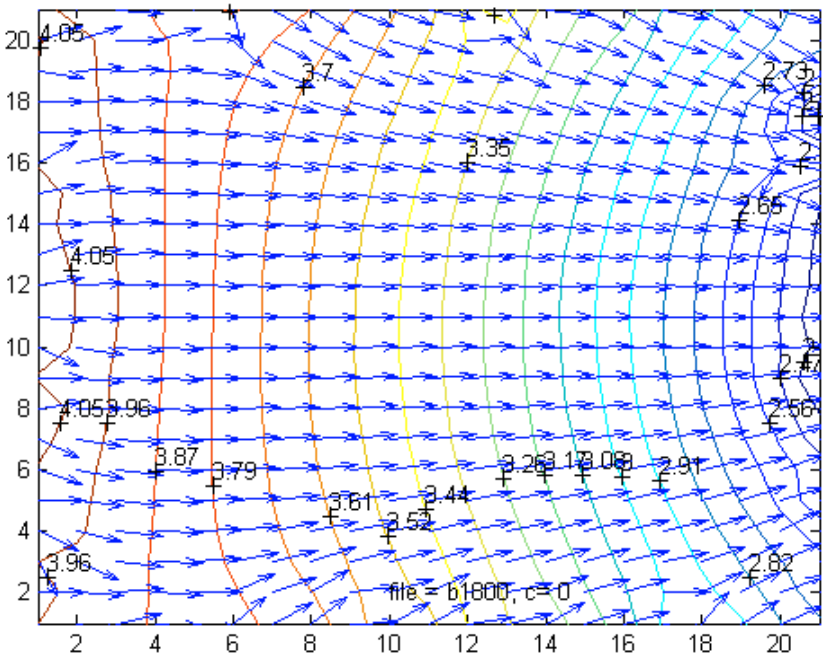
ภาพที่ 91 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 900 วินาที



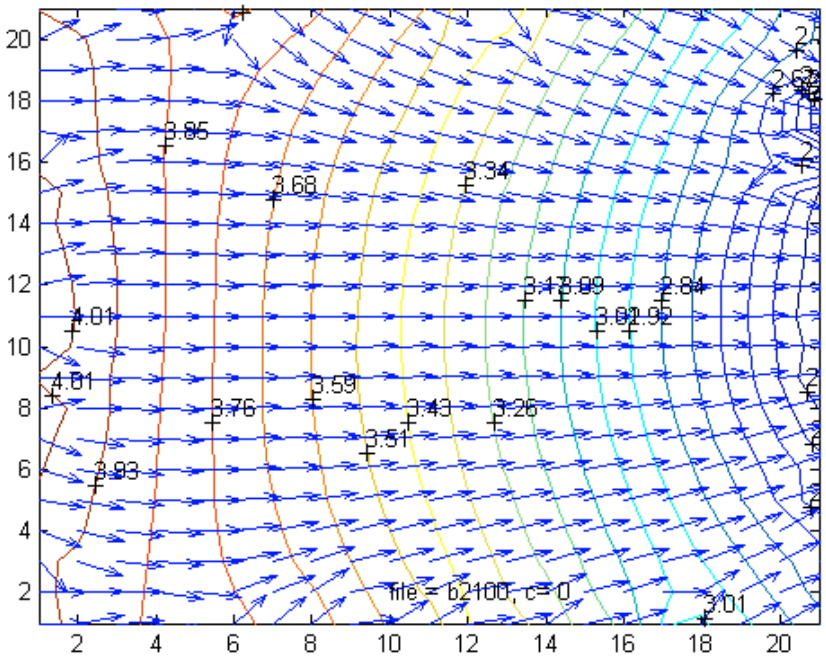
ภาพที่ 92 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 1200 วินาที



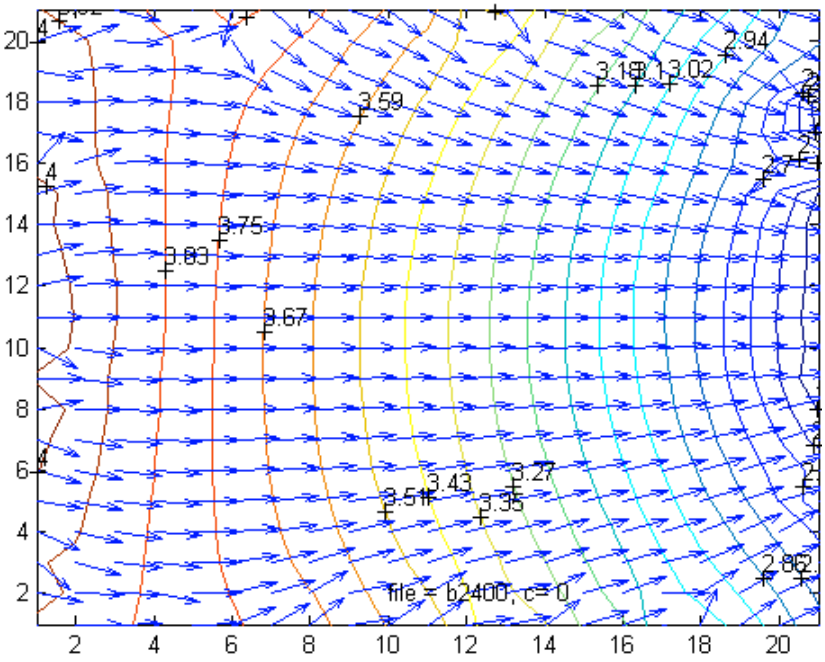
ภาพที่ 93 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 1500 วินาที



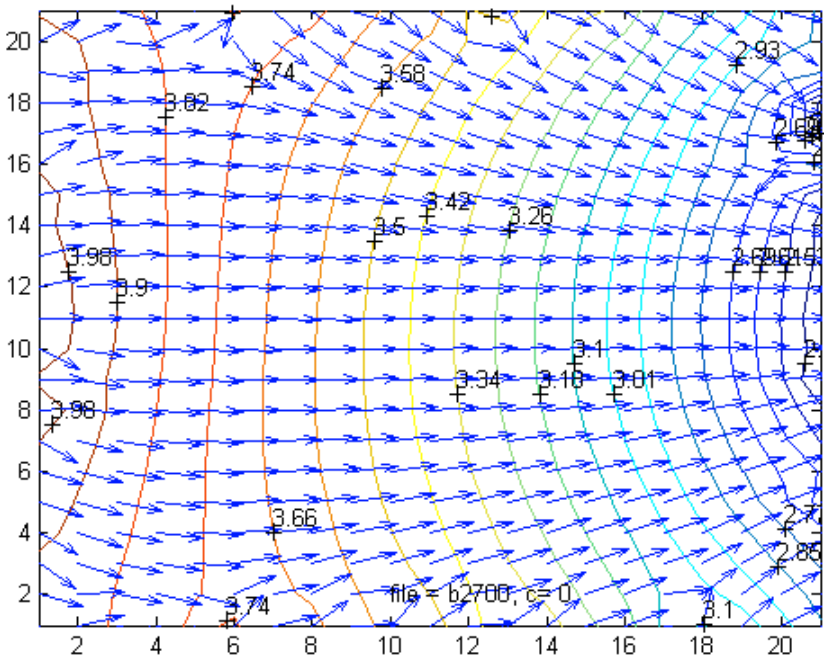
ภาพที่ 94 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 1800 วินาที



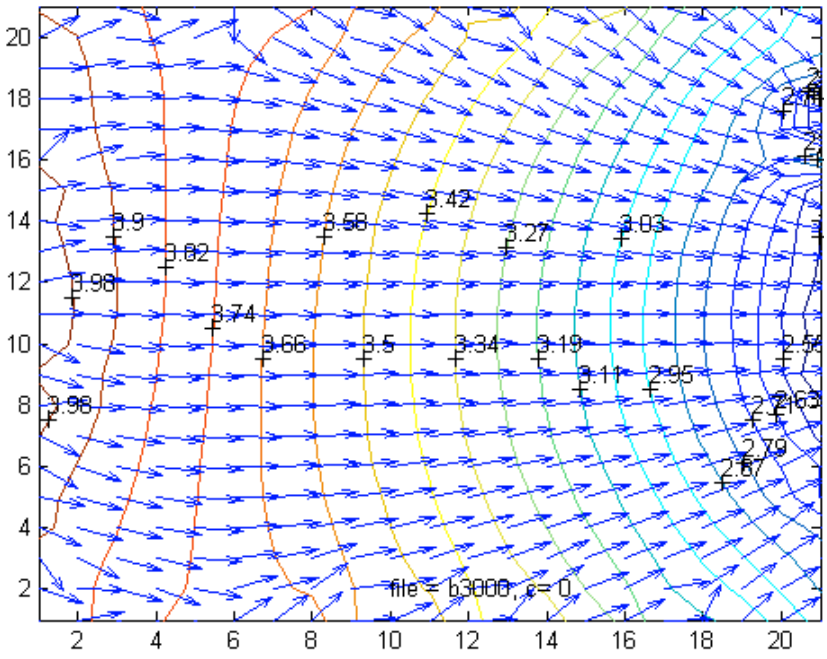
ภาพที่ 95 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 2100 วินาที



ภาพที่ 96 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 2400 วินาที

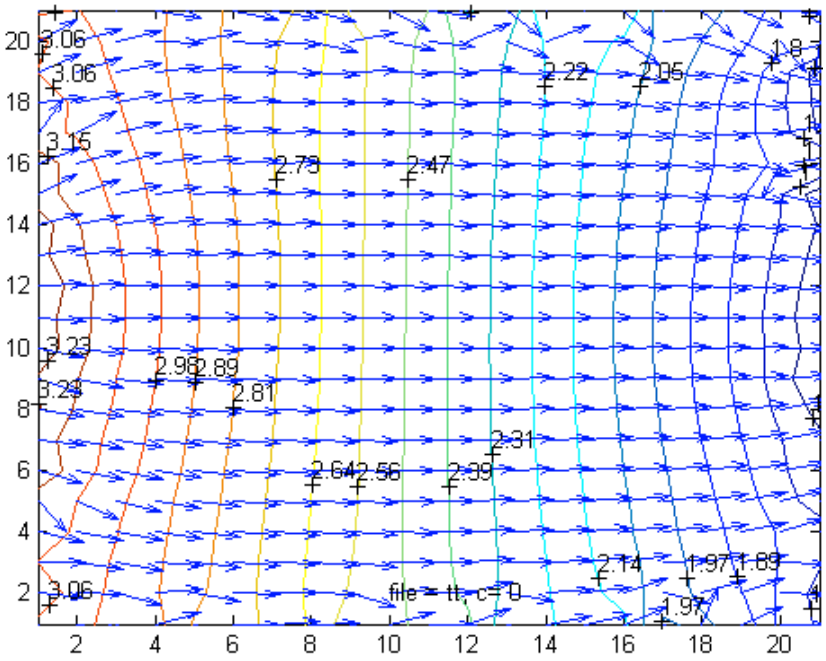


ภาพที่ 97 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 2700 วินาที

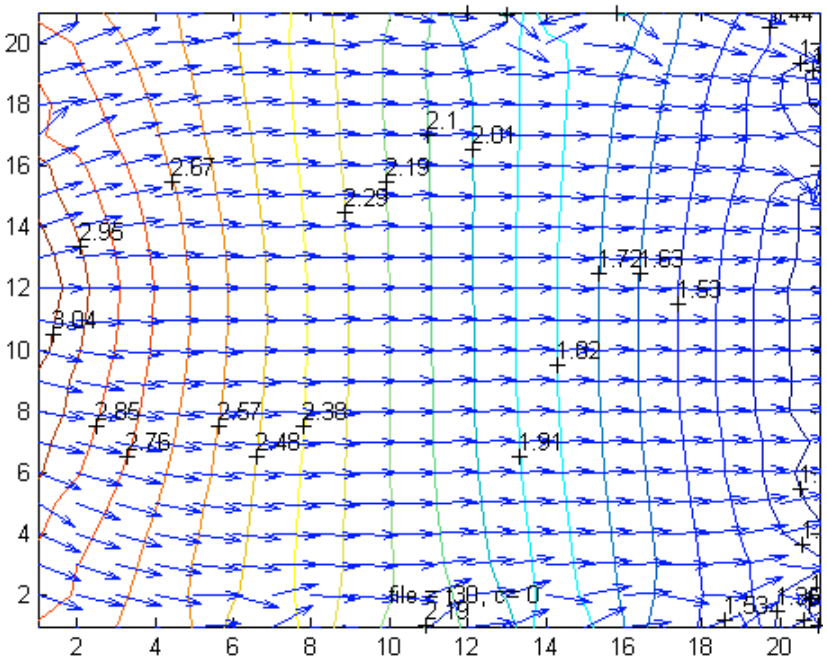


ภาพที่ 98 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในช่วงเวลา 3000 วินาที

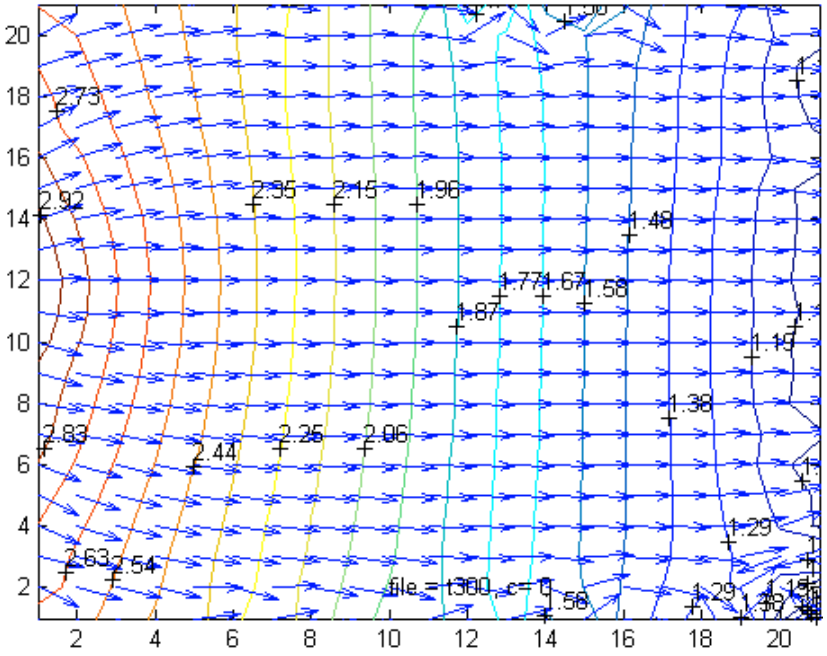
3. การทดลองหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ



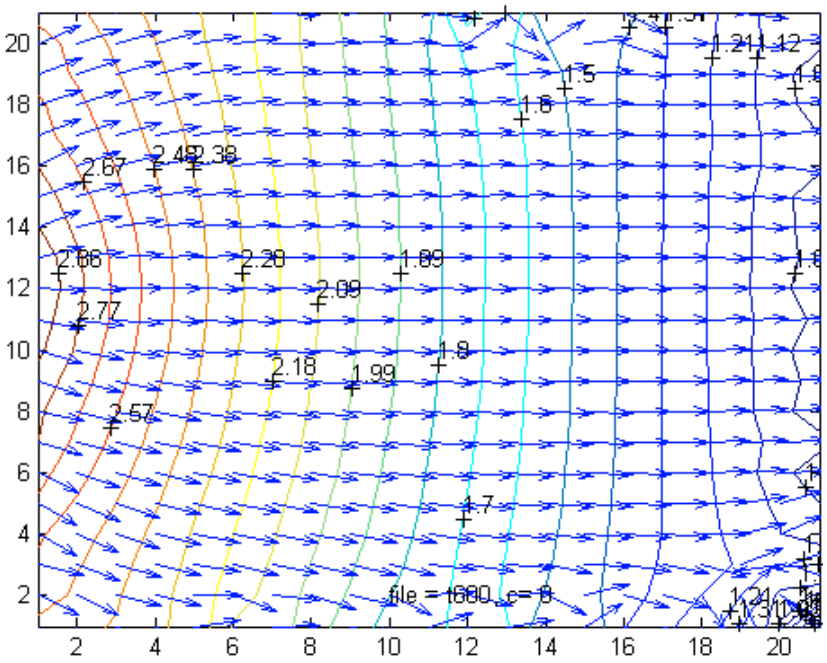
ภาพที่ 99 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ



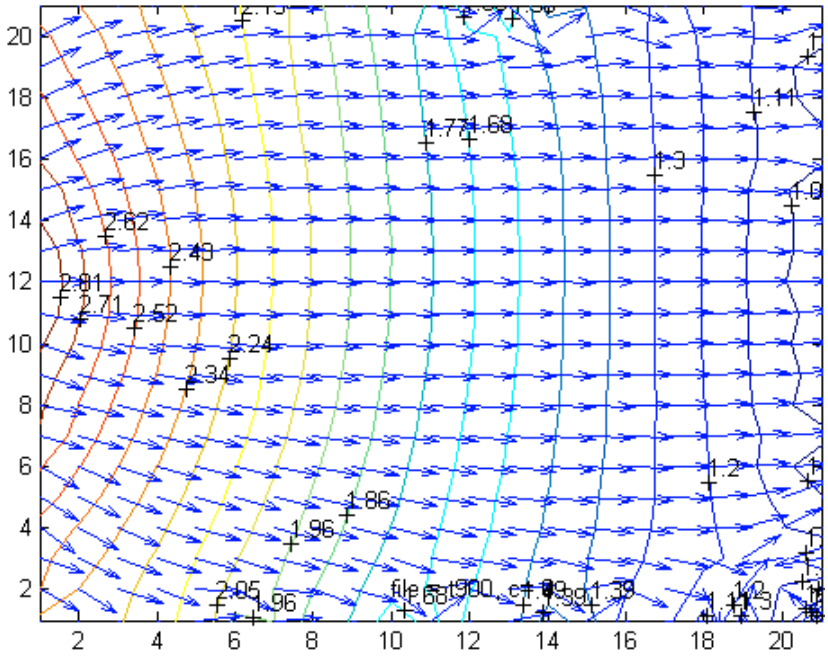
ภาพที่ 100 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที



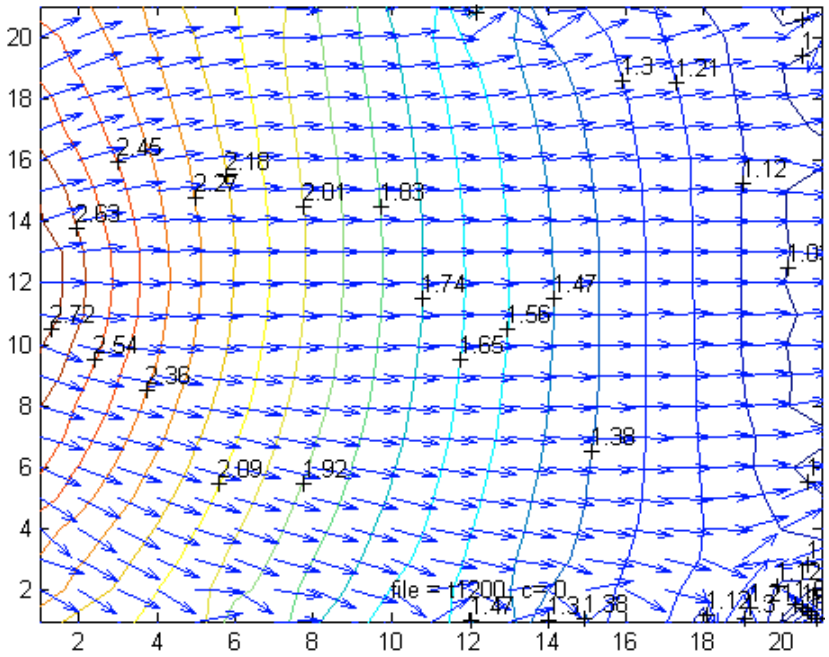
ภาพที่ 101 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที



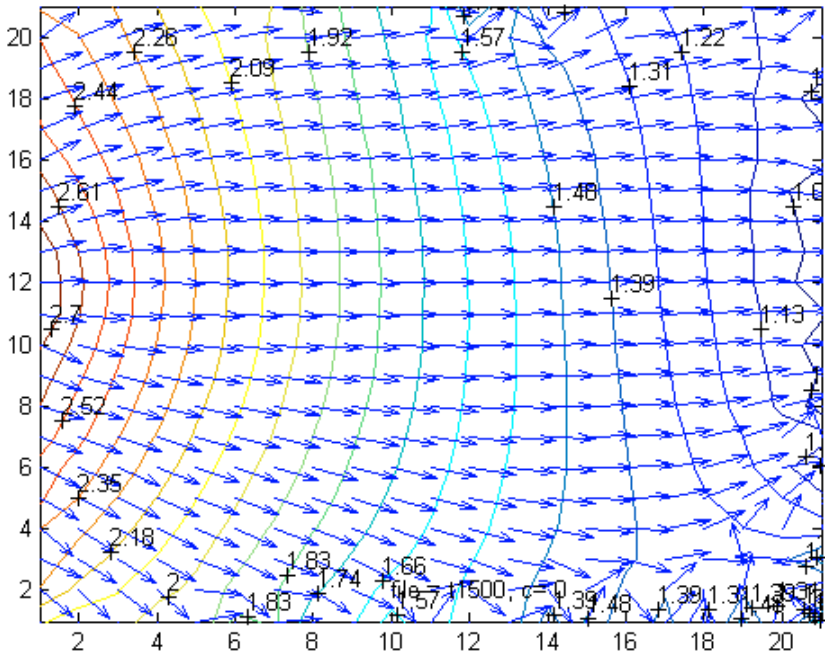
ภาพที่ 102 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 600 วินาที



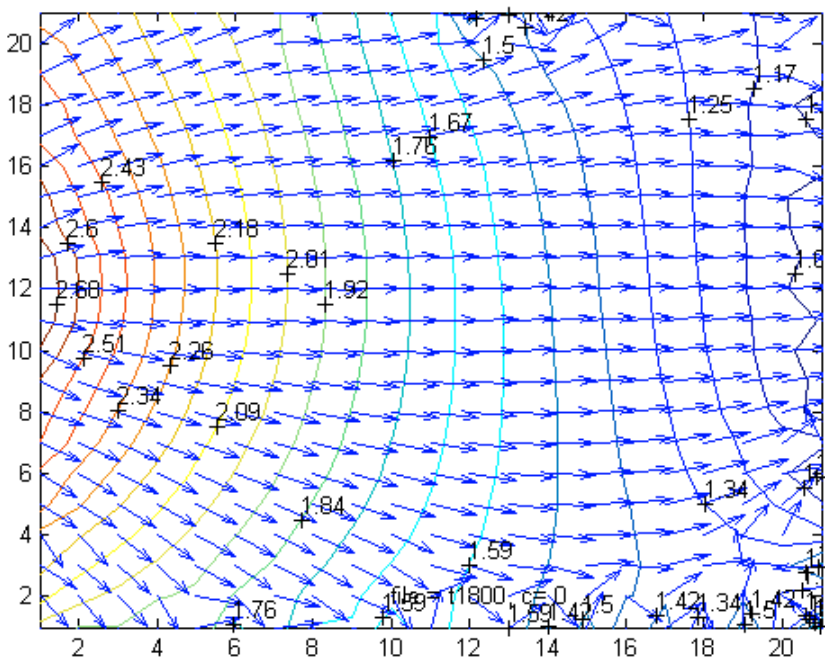
ภาพที่ 103 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 900 วินาที



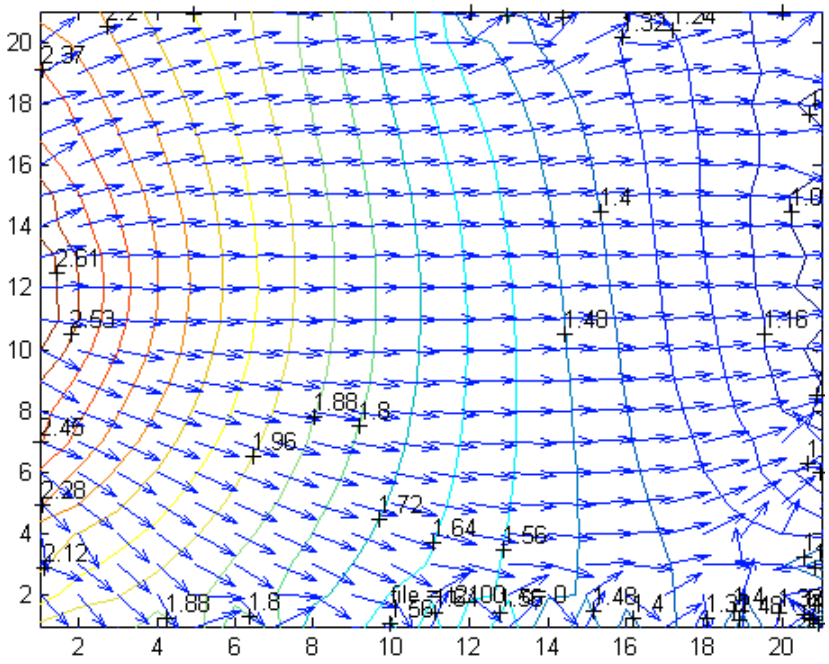
ภาพที่ 104 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 1200 วินาที



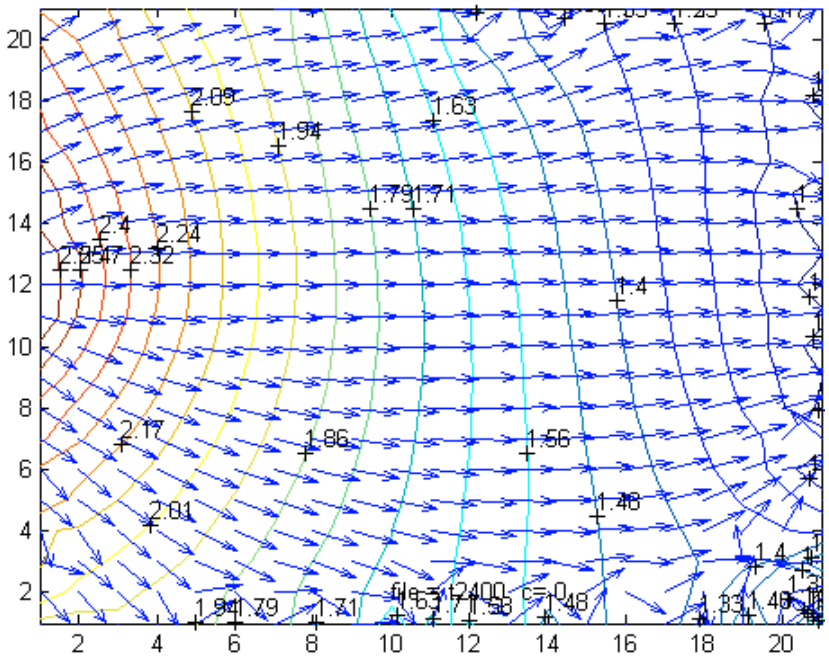
ภาพที่ 105 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 1500 วินาที



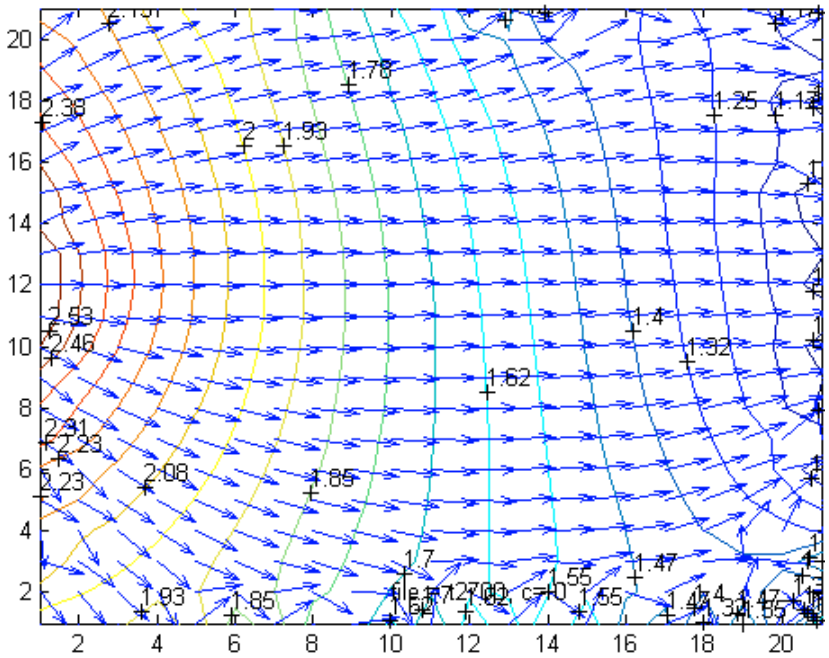
ภาพที่ 106 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 1800 วินาที



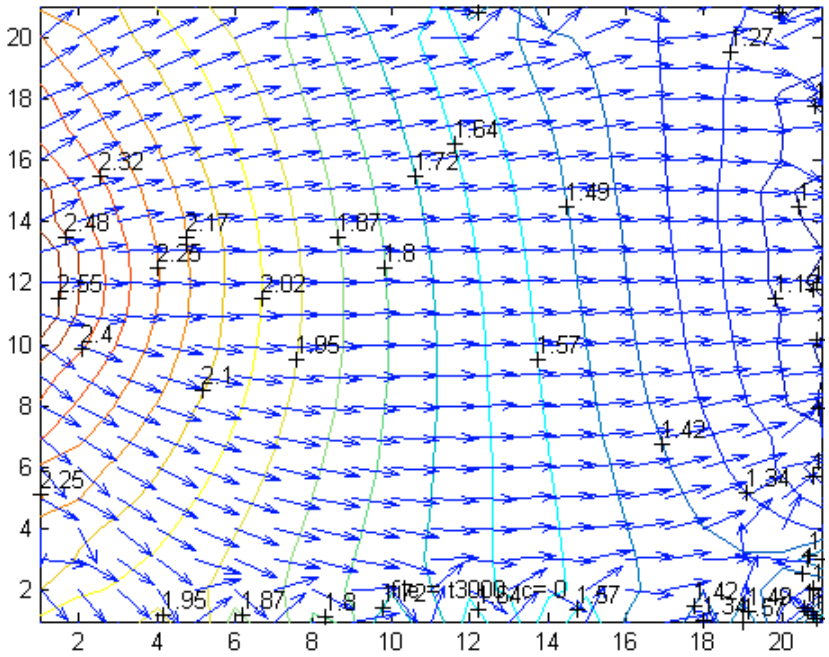
ภาพที่ 107 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 2100 วินาที



ภาพที่ 108 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 2400 วินาที



ภาพที่ 109 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 2700 วินาที



ภาพที่ 110 แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในช่วงเวลา 3000 วินาที